
**Analyse von straßen- und schienengebundener
Verkehrsinfrastruktur im Elbursgebirge, Iran, als
Auslöser von Massenbewegungen.
Untersuchung im Kontext der
verkehrsinfrastrukturellen Ausdehnung der
iranischen Provinzen Alborz, Qazvin und Teheran**

Analysis of road and rail infrastructure in the Alborz Mountains, Iran, as a trigger for landslides. Research in the context of the road and rail infrastructural expansion from the Iranian provinces Alborz, Qazvin and Teheran

Bachelorarbeit

vorgelegt von

Tina Ghafoori

Matr.-Nr.: 11089803

am 01. Juni 2016

Referent: Prof. Dr. Alexander Fekete
Korreferentin: M.Sc. Katerina Tzavella

Kurzfassung

Die Dokumentation und Untersuchung von Massenbewegungen ist der entscheidende Schritt, um die Gefahr, die von ihnen ausgeht, zu identifizieren und im nächsten Schritt zu minimieren. Vor allem in Bergregionen kann dies im Extremfall Menschenleben retten.

Folglich untersucht diese Arbeit auf Grund bestehender Gefahr die räumliche Verteilung von Massenbewegungen in den drei iranischen Provinzen Alborz, Qazvin und Teheran. In Anbetracht der immer weiter wachsenden Städte im erdbeben- und somit massenbewegungsgefährdeten Elbursgebirge wird mittels zweier quantitativer Analysen der isolierte Einfluss von straßen- und schienengebundener Verkehrsinfrastruktur auf Massenbewegungen (in den drei Provinzen) untersucht. Beide Analysen vergleichen ausschließlich die lokale Häufung von Massenbewegungen mit dem vorhandenen Straßen- und Schienennetz: in der ersten Analyse durch das Vergleichen stattgefundener Massenbewegungen innerhalb von Teilgebieten des untersuchten Gebiets, in der zweiten Analyse werden die Häufungen in verschiedenen Abständen zu Straßen erfasst. Anknüpfend an die zweite Analyse wird eine Bewertung der Häufigkeiten getätigt. Es ergeben sich folgende wesentliche Erkenntnisse aus dieser Bachelorarbeit:

- **Die Aussagekraft der Analysen kann höchstens so groß sein wie die Richtigkeit, Vollständigkeit und Detailliertheit der zur Verfügung gestellten Datenbanken**
- **Die verhältnismäßig große Fläche des Untersuchungsgebietes stellt eine hohe Fehlerquelle dar (z.B. durch das große Datenvolumen)**
- **Eine Anfälligkeitsanalyse auf Grund eines isoliert betrachteten Auslösefaktors ist mit vielen Fehlern und Annahmen behaftet (z.B. muss zunächst einmal angenommen werden, dass Massenbewegungen nicht durch andere Faktoren ausgelöst werden)**
- **Eine erhöhte Anfälligkeit des Untersuchungsgebietes gegenüber Massenbewegungen innerhalb von 50 m Abstand zu Straßen konnte durch die in dieser Arbeit beschriebenen „Straßenpufferanalyse“ nachgewiesen werden**

Die Analysen sind mit dem Programm ArcGIS durchgeführt. Ihre detaillierte Beschreibung ermöglicht es dem Leser, die Analysen weiterzuführen oder mit anderen Parametern zu wiederholen. Weiterführende Analysen beispielsweise in Form einer Risikokarte verhelfen den Menschen, Sachgüter und die Umwelt z.B. durch nachhaltige Bauungspläne zu schützen.

Abstract

The documentation and investigation of mass movements is the crucial step to identify and subsequently minimise their serious risks. Applying this procedure in mountain areas can prevent the loss of lives.

Consequently the spatial distribution of mass movements in the three Iranian provinces Alborz, Qazvin and Teheran are investigated in this paper. The continuously growing cities in the Alborz Mountains are located in an earthquake zone and therefore potentially exposed to landslides. This paper examines the isolated influence of road and rail infrastructures on landslides in these three provinces by means of two quantitative analyses. Both approaches compare exclusively the spatial accumulation of mass movements with the existing road and rail network: The first analysis compares occurred mass movements within sub-areas of the whole observation territory whereas the second analysis registers the accumulation of mass movements with regard to their proximity to roads. Following up on the second analysis an assessment of the accumulation of occurrence will be carried out.

The following essential conclusions can be drawn from this paper:

- **The degree of accuracy of the explanatory power of the analyses is determined by the accuracy, completeness and the level of detail of the provided databases**
- **The relatively large investigated area is a potential source of error (e.g. by the huge volume of data)**
- **A susceptibility analysis on the basis of a trigger observed in isolation contains a lot of assumptions and errors (e.g. a first assumption is that landslides are not initiated by other causes)**
- **An increased susceptibility of the study area to mass movements within a 50 meters distance to roads could be proven by a so called “buffer analysis to roads” described in this paper**

The analyses have been carried out by the programme ArcGIS. Their detailed description enables the reader to continue the analyses or to perform them with different parameters. Further analysis e.g. performing a risk mapping can help to protect people, material goods and the environment for example through sustainable land-use planning.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzfassung	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Zielsetzung.....	5
3 Definitionen und Begriffsbestimmungen	6
3.1 Massenbewegungen	6
3.2 Auslöser	7
3.3 Straßen.....	8
3.4 Unterscheidung von Bestands-, Anfälligkeits-, Vulnerabilitäts-, Gefahren- und Risikokarten.....	8
4 State of the Art.....	12
4.1 Forschungsstand	12
4.2 Straßen als Anfälligkeitsfaktor für Massenbewegungen	14
4.3 Geographisches Informationssystem	20
4.4 Risikoanalyse	21
5 Untersuchungsgebiet und darin betrachtete Teilgebiete.....	23
6 Methodik.....	27
6.1 Literaturrecherche	27
6.2 Untersuchung anhand von ArcGIS	28
6.2.1 Datenbeschaffung und Datenqualitätsprüfung	29
6.2.2 Datenkartierung.....	36
6.2.3 Datenanalyse	41
6.2.3.1 Straßenflächenanteil eines Gebiets im Vergleich zu den darin stattgefundenen Massenbewegungen.....	41
6.2.3.2 Straßenpufferanalyse	43
7 Ergebnisse	47
7.1 Straßenflächenanteil eines Gebiets im Vergleich zu den darin stattgefundenen Massenbewegungen.....	47

7.2	Straßenpufferanalyse	48
8	Diskussion	52
8.1	Fehlerbetrachtung	52
8.2	Straßenflächenanteil eines Gebiets im Vergleich zu den darin stattgefundenen Massenbewegungen.....	57
8.3	Straßenpufferanalyse	58
9	Fazit	65
10	Ausblick.....	66
	Abbildungsverzeichnis	69
	Tabellenverzeichnis.....	71
	Literaturverzeichnis.....	72

Abkürzungsverzeichnis

Bearb. d. Verf.	Bearbeitet durch Verfasser(in)
DIVA	Double Interferometer for Visual Astrometry
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
kb	Kilobyte
MB	Massenbewegung/Massenbewegungen
NGDIr	National Geoscience Database of Iran
Osm	OpenStreetMap
RAS-Q	Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Querschnitt
SAR	Synthetic Aperture Radar
Shp	Shape
SPI	Surface Percentage Index
Tiff	Tagged image files format
Übers. d. Verf.	Übersetzt durch Verfasser(in)
UTM	Universal Transversal Mercator
WGS 1984	World Geodetic System 1984

1 Einleitung

Seit Jahrzehnten ist die Gefahr der Auswirkungen von Massenbewegungen für den Menschen in den Medien präsent und somit im Alltag bekannt. So verzeichnet die Liste der 10 Katastrophen mit den meisten Todesopfern im Jahre 2015 zwei Massenbewegungen. 256 Menschen wurden im April 2015 in Afghanistan durch Massenbewegungen getötet, 627 im Oktober in Guatemala. [FOWLER 2016] Im Iran erschütterte das Erdbeben in Bam 2003 die Welt. Es zerstörte (auch durch das Wirken von Massenbewegungen) den historischen Stadtteil vollständig und kostete zahlreichen Menschen das Leben [BARTOSCHEK & KRON 2013; NILI 2012]. Die Präsenz der Gefahr von Massenbewegungen hat bis heute zugenommen, auch im Iran.

„Der Iran ist Hochrisikogebiet für Erdbeben“ [LÜDEMANN 2013], erklärt der Seismologe F. Tilmann im Interview mit der Zeit. Außerdem können Erdbeben (und damit verbundene Massenbewegungen) im Iran enorme Auswirkungen auf die Bevölkerung haben, da die „Distanz zwischen den Bergspitzen und dem Zentrum von Städten durchschnittlich [bei lediglich] ca. 15 bis 20 km“ [NILI 2012] liegt. Massenbewegungen im Iran haben laut DesInventar, eine Katastrophen inventierende Organisation, allein zwischen 2005 und 2010 51 Menschen das Leben gekostet, 44 Menschen verletzt, 431 Häuser zerstört, 105 Hektar Vegetation zerstört, 210 Nutztiere getötet und 17600 m Straße geschädigt. Finanziell betrug der Schaden ca. 231 Milliarden Rial (ca. 6,8 Millionen €, Stand 05.2016). Die Massenbewegungen richteten über den genannten Zeitraum im Vergleich zu weiteren Katastrophen den siebtgrößten finanziellen Schaden des Landes an [DISASTER INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM 2011].

In der folgenden Tabelle wird der Schaden der im Iran stattgefundenen Katastrophen über den Zeitraum 1895–2011 verglichen.

Tabelle 1: Vergleich des Schadens iranischer Katastrophen von 1895 bis 2011

Event	DataCards	Deaths	Injured	Missing	Houses Destroyed	Houses Damaged	Affected	Relocated	Evacuated	Losses \$USD	Losses \$Local	Education centers	Hospitals	Damages in crops Ha.	Lost Cattle	Damages in roads Mts
ACCIDENT	1825	8228	9907	42	29	2	163	26	0	0	4839000000	0	0	0	9	0
AVALANCHE	24	38	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DROUGHT	61	0	0	0	0	0	110000	0	0	0	113557416000000	0	0	840029136230	0	0
DROWN	63	94	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EARTHQUAKE	5710	183186	64016	2345	105215	219078	2331360	2260	503170	9687328000	35306080237000	9	0	2302100	1109	10000
EPIDEMIC	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EXPLOSION	201	365	991	0	30	37	27	5	0	0	1161000000	0	0	0	0	0
FIRE	1435	621	1309	0	135	295	8085	0	0	16000000	2223862629000	0	1	1744	27349	0
FLASH FLOOD	1	0	0	0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLOOD	6579	14943	16944	1179	33374	350071	290915	402012	1755	2725838000	14549870788834	39	1	414269	1179194	5344448
FOREST FIRE	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100000000	0	0	3406	0	0
FROST	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNU CYCLONE	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAILSTORM	119	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LANDSLIDE	169	224	78	13	455	33	100	40000	0	0	231350000000	57	0	105	210	17600
LEAK	29	87	211	0	0	0	200	4	0	0	3000000	0	0	0	0	0
LIQUEFACTION	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OTHER	263	517	213	1	5	54	0	0	0	0	948000000	0	0	0	0	0
PLAGUE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RAINS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SNOWSTORM	152	48	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	820	0
STORM	321	382	142	0	0	14	171709	0	0	240000	615300000000	0	0	0	0	0
STRONG WIND	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STRUCTURE	30	82	45	0	2	1	0	2	0	0	478000000	0	0	0	0	0
THUNDER STORM	117	133	53	0	0	139	0	1	0	0	301000000000	0	0	0	87	0

[DISASTER INFORMATION MANAGMENT SYSTEM 2011]

Interessant ist, dass die in Tabelle 1 untersuchten Massenbewegungen im Verhältnis zu anderen finanziell hoch belastenden Katastrophen auf wenig Datenquellen fundieren (siehe Tab.1 „DataCards“). Es lässt sich vermuten, dass weniger Literatur über Massenbewegungen als über die anderen großen Katastrophen existiert. Das kann mit Grund dafür sein, dass die Auswirkungen von Massenbewegungen trotz der gesellschaftlichen Bekanntheit noch ernsthaft unterschätzt werden [ALEXANDER 2008; nach SASSA 1999]. Die Literatur begründet die Unterschätzung anhand folgender Sachlage:

- Weniger als 1 % der von Massenbewegungen betroffenen Hänge sind als solche kartiert [GUZZETTI et al. 2012]

Alexander (2008, eigene Übersetzung) nennt hierzu konkret:

- „Viele Massenbewegungen finden dort statt wo Nachrichten nicht ausreichend nach außen getragen werden.
- Viele schädigende und gefährliche Massenbewegungen sind nicht plötzlich genug, dass sie als Katastrophe dokumentiert werden, obwohl sie in der Tat schleichende Katastrophen sind welche über einen anhaltenden Zeitraum zunehmend Schaden ausüben können.

- Die erlittenen Verluste und das ertragene Leid ist unter Umständen nicht proportional zu den Todeszahlen [...] vor allem, da die meisten Massenbewegungen langsam vonstattengehen, und somit keine Menschenleben fordern.
- Kleine alleine unbedenkliche Massenbewegungen können in einer Vielzahl räumlich zerstreut auftreten und kombiniert ein sehr ernstzunehmendes regionales Problem darstellen. Dieses Problem weist allerdings nicht die üblichen Eigenschaften einer Katastrophe auf und ist somit nicht so einfach als Katastrophe zu identifizieren.
- Da Massenbewegungen häufig mit Fluten [...] [und anderen Katastrophen] auftreten werden sie eventuell nicht als eigenständige Katastrophe klassifiziert“ [ALEXANDER 2008 Übers. d. Verf.].

Aus dem dargestellten Problem lässt sich die Frage herleiten, inwieweit das Elbursgebirge anfällig gegenüber Massenbewegungen ist. Jene Fragestellung soll in dieser Bachelorarbeit analysiert werden. Konkret soll der Anfälligkeitsfaktor „Straßen“ untersucht werden. Zum einen, da deren Erfassung keine geologische Ausbildung wie die meisten anderen Faktoren für die Anfälligkeit von Massenbewegungen voraussetzt. Zum anderen, da anthropogene Einflüsse wie z.B. der Straßenbau für den Prozess der Massenbewegungen von hoher Bedeutung sind [GLADE & DIKAU 2001]. Trotzdem liegt der Fokus anderer Analysen selten auf dem Faktor Straßen. Somit sind das Ausmaß und die Wirkungseigenschaften des Faktors Straße in weiten Teilen noch ungewiss.

Bestätigt sich die Bedeutsamkeit des Faktors „Straße“ als Auslöser für Massenbewegungen für die drei als Untersuchungsgebiet gewählten iranischen Provinzen, ergeben sich zwei zu betrachtende lokale Folgen:

Zum einen liegen im Tal des Gebirges drei der größten Städte Irans. Die Hauptstadt und gleichzeitig größte Stadt Teheran, eine weitere Millionenstadt Karaj und die Großstadt Qazvin. Das bedeutet, dass Massenbewegungen in den Städten auf viele Menschen, deren Sachgüter und Infrastruktur wirken können. Dazu kommt, dass die Städte auch weiter wachsen und somit immer mehr Menschen, Sachgüter und Infrastruktur potenzieller Gefahr ausgesetzt sind. Die United Nations prognostizieren, wie sich aus der folgenden Tabelle ableiten lässt, ein Populationswachstum der iranischen Städte von fast 25 % im Zeitraum zwischen 2015–2030 [UNITED NATIONS 2006]. Damit verbunden wäre fast zwangsläufig eine infrastrukturelle Ausdehnung.

Tabelle 2: Durchschnittliche jährliche Veränderungsrate städtischer Population (Iran)

Average annual rate of change of the urban population

								2005-2030: Projections
Average annual rate of change (per cent)								Major area, region and country
1990-1995	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	
3.09	2.88	2.61	2.45	2.31	2.13	1.93	1.76	ASIA
2.81	2.58	2.40	2.51	2.63	2.67	2.64	2.55	SOUTH-CENTRAL ASIA
3.24	2.53	1.76	2.08	2.13	1.84	1.45	1.18	Iran (Islamic Republic of)

[UNITED NATIONS 2006 bearb. d. Verf.]

Auf der anderen Seite ist das Gebirge selbst dünnbesiedelt. Folglich ist auch die Infrastruktur weniger gut ausgebaut. Auch auf Grund der erschwerten Baubedingungen im Gebirge führen meist nur wenige „Hauptstraßen“ hindurch. Sie führen von den genannten Großstädten hin zu den Städten nördlich des Gebirges am Kaspischen Meer. Geht man davon aus, dass diese Straßen Massenbewegungen auslösen, müssen die Straßen in weiterführenden Betrachtungen auch als sich selbst bedrohende Objekte gesehen werden. Blockiert bewegte Masse die Straßen, ist häufig der einzige Zufahrtsweg abgeschnitten. Daraus lassen sich erhebliche wirtschaftliche, medizinische und gesellschaftliche Versorgungseinschränkungen erwarten.

2 Zielsetzung

Basierend auf der in der Einleitung beschriebenen Sachlage soll in dieser Arbeit analysiert werden, inwieweit straßen- und schienengebundene Verkehrsinfrastruktur im Elbursgebirge, Iran, als Auslöser von Massenbewegungen wirkt. Die vermutete Anfälligkeit des Untersuchungsgebietes gegenüber Massenbewegungen durch den Faktor „Straßen“ soll belegt und definiert werden. Damit wäre darüber hinaus ein Zusammenhang zwischen Städteentwicklung bzw. Ausdehnung und der Anfälligkeit gegenüber Massenbewegungen (für die Zukunft) ableitbar.

Ein zweites Ziel wird definiert. Die verwendeten Daten und die angewandte Methodik werden bewertet. Dadurch soll das Kapitel „Methodik“ ermöglichen, das Vorgehen lückenlos nachzuvollziehen und die Aussagekraft einzuschätzen. Das Kapitel kann somit Grundlage für einer Weiterführung dieser Arbeit sein, z.B. mit neueren Daten oder auf andere Untersuchungsgebiete übertragen werden. „Die Methodik“ und die „Fehlerbetrachtung“ sollen im Vorfeld Informationen zum Zeitaufwand und zur Aussagekraft weiterführender Untersuchungen liefern.

Schlussendlich ist es Ziel, die Ergebnisse so aufzubereiten, dass sie Teilgrundlage einer Risikokartierung (siehe Punkt 4.3) sein können.

Sekundär soll diese Arbeit zur Diskussion anregen: Inwieweit sind die Städte rund um die Provinz Teheran noch fähig zu wachsen? Oder anders: kann man die Auswirkungen der Städteausdehnung tragen oder ist es an der Zeit darüber nachzudenken, wie man diese Ausdehnungen generell eindämmt (z.B. durch Dezentralisierung des Landes von seiner Hauptstadt Teheran)?

3 Definitionen und Begriffsbestimmungen

Im Folgenden werden die Begriffe Massenbewegungen, deren Auslöser und Straßen und Schienen erklärt und definiert. Darüber hinaus werden verschiedene Kartierungsarten voneinander abgegrenzt. Allgemein gängige Definitionen sollen vor allem die Begriffe Massenbewegungen, deren Auslöser und die diversen Kartierungsarten verständlich machen. Detailliertere Beschreibungen legen fest, wie die verschiedenen Bezeichnungen für diese Arbeit verstanden werden müssen.

3.1 Massenbewegungen

„Massenbewegungen sind eine Form der **Erosion** (Abtragung) von verwitterten bzw. lockeren Gesteinen. Sie stehen am Beginn der Transportprozesse von Verwitterungsmaterial. [...] Massenbewegungen sind *hangabwärts* gerichtete Bewegungen des Verwitterungsschuttes/Lockergesteins *unter Wirkung der Schwerkraft* an Steilhängen und Böschungen.“ [ULLRICH 2012]

Eine Massenbewegung kann stattfinden, wenn sich ein Bewegungsmechanismus ausbilden kann. Die kinematischen Größen Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung bilden die Voraussetzungen dafür. Zusätzlich muss ein auslösendes Ereignis wie z.B. ein Erdbeben „das Gleichgewicht der Kräfte [des Hanges] stören, sodass sich der Hang jenseits des Grenzzustands befindet, in dem die treibenden Kräfte die haltenden überwiegen [WITT 2010]“. Diese Gleichgewichtsstörung ist somit die mechanische Bedingung einer Massenbewegung. [WITT 2010]

Die Working Party for World Landslide Inventory UNESCO definiert Massenbewegungen (bzw. Landslides) unter anderem über ihre fünf möglichen Bewegungstypen: Fallen; Kippen; Gleiten; Driften; Fließen. [WORKING PARTY FOR WORLD LANDSLIDE INVENTORY UNESCO 1993] In der gleichen Reihenfolge skizziert Abbildung 1 die verschiedenen Bewegungstypen. Des Weiteren wird beschrieben, dass Steinschläge beispielsweise zu den fallenden Massenbewegungen (1) gehören. Muren fließen (5) und Erdrutsche gleiten (3).

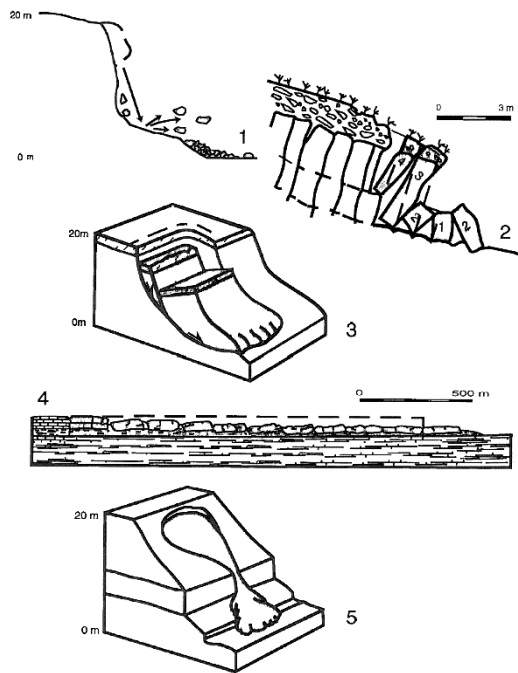


Abbildung 1: Bewegungstypen von Massenbewegungen
[WORKING PARTY FOR WORLD LANDSLIDE INVENTORY UNESCO 1993]

In Punkt 6.2.1 wird detailliert auf die für diese Arbeit zur Verfügung stehenden Massenbewegungsdaten eingegangen. An dieser Stelle sei lediglich gesagt, dass diesen Massenbewegungen ausschließlich ihre Lage zugeordnet ist und sie in die zwei Klassen „große“ Massenbewegungen und solche „kleinerer bis mittlerer“ Größe unterteilt sind. Eine weitere Klassifizierung ist nicht vorhanden. Deshalb wird in dieser Arbeit nicht weiter auf die verschiedenen Bewegungstypen oder Arten von Massenbewegungen (Steinschlag, Muren etc.) eingegangen. „Massenbewegung“ wird also als Sammelbegriff/Überbegriff verwendet und im Folgenden nicht weiter unterteilt.

Aus dem Englischen wird sowohl der Begriff „Mass Movement“ als auch der Begriff „Landslide“ mit Massenbewegung übersetzt.

Als Abkürzung in Text, Abbildungen und Tabellen wird für den Begriff Massenbewegungen MB benutzt.

3.2 Auslöser

„Die Stabilität eines Hanges wird beeinflusst von einer Vielfalt von zeitabhängigen und zeitunabhängigen Faktoren, welche bei ungünstiger Aneinanderreihung zu Massenbewegungen führen können“ [DAVIES & SHRODER 2015]. Diese Faktoren werden Auslöser (von Massenbewegungen) genannt.

Unter dem Begriff Auslöser werden hier sowohl direkt auslösende Faktoren wie z.B. ein Erdbeben als auch vorbereitende Faktoren wie z.B. Hangstabilitätsabnahme durch Verwitterung verstanden [BELL 2007 nach GLADE, ANDERSON & CROZIER 2006].

In dieser Analyse wird allein und isoliert der Faktor Straße („Faktor Straße“ inkludiert Schienen; Siehe Punkt 3.3) als Auslöser betrachtet. Somit kann dieser als Auslösefaktor bewertet werden. Trotzdem sei an dieser Stelle schon gesagt, dass nahezu jede

Massenbewegung nicht nur von einem Faktor ausgelöst wird [DAVIES & SHRODER 2015; KALLASH 2009]. Folglich müssen im Anschluss an isolierte Betrachtungen alle Faktoren gemeinsam betrachtet werden. Nur so kann eine fundierte Aussage darüber getroffen werden, warum Massenbewegungen wo und wann ausgelöst worden sind. Zukünftige Prognosen beispielsweise in Form von Risikokarten können ebenfalls erst erstellt werden bzw. belastbare Aussage treffen, wenn eine Vielfalt von Faktoren und ihre Interaktivität untersucht worden sind.

3.3 Straßen und Schienen

In dieser Arbeit wird der Einfluss von Straßen und Schienen auf das Auslösen von Massenbewegungen untersucht. Dazu muss eine genaue Definition von Straßen und Schienen getroffen werden. Zur Untersuchung werden ein Straßendatensatz und ein Schienendatensatz verwendet. Der Straßendatensatz enthält viele verschiedene Straßenarten. Darunter vor allen Dingen Autobahnen, Landstraßen und Ortsstraßen, aber auch einige wenige Fußgänger- und Radwege. Die Straßen und Schienen sind in den jeweiligen Datensätzen zunächst einmal als Linien gelistet. Sie werden allerdings für diese Arbeit in Flächen umgewandelt (siehe Punkt 6.2.2). Erst dann werden sie für die Analyse verwendet.

Das heißt, unter Straßen und Schienen werden die Flächen aller Straßenarten und aller Schienen verstanden.

Außerdem wird im Folgenden unter dem Begriff „Straße“ bzw. „Straßen“ auch immer eine „Schiene“ oder „Schienen“ verstanden, solange es nicht ausdrücklich anders geschrieben ist. Die strukturellen Unterschiede im Aufbau der Straßen und Schienen wie auch die Unterschiede in der Rüttelbewegungen bei der Befahrung wird im Folgenden nicht beachtet.

3.4 Unterscheidung von Bestands-, Anfälligkeits-, Vulnerabilitäts-, Gefahren- und Risikokarten

Bestands-, Anfälligkeits-, Vulnerabilitäts-, Gefahren- und Risikokarten kartieren alle das zu untersuchende Ereignis oder Objekt. Beispielsweise kartieren sie Massenbewegungen für Massenbewegungsanalysen. Sie unterscheiden sich trotzdem wesentlich voneinander. Konkret bauen sie in der genannten Reihenfolge aufeinander auf.

Die **Bestandskarte** visualisiert die Lokalisation der Massenbewegung. Es bestehen die Möglichkeiten, dass die Massenbewegungen als Punkt oder Fläche kartiert werden. Außerdem können sie klassifiziert sein, beispielsweise in ihre Form, Größe etc. Darüber hinaus sind den Massenbewegungen in der Bestandskarte keine Informationen und vor allem keine Wertungen zugeschrieben.

Grundlage können geologische wie auch topographische Karten sein. Sie sind allerdings nicht zwingend notwendig. Ohne Grundlagenkarte werden reine Massenbewegungsbestandskarten erzeugt.

Das Einbeziehen von für die Massenbewegungen ursächlichen Faktoren, macht aus einer Bestandskarte eine **Anfälligkeitskarte** [ALEXANDER 2008 nach SÜZEN & DOYURAN 2003]. Es lassen sich anhand der Häufung von ursächlichen Faktoren Zonen ausmachen, in denen Massenbewegungen häufig sind – Zonen, die anfällig gegenüber Massenbewegungen sind. Die Frequenz, also die zeitliche Dimension der Massenbewegungen, wird in der Anfälligkeitskarte nicht betrachtet. [WICKI 2014; FELL et al. 2008]

Speziell in der deutschen Literatur wird manchmal nicht zwischen Anfälligkeit und Vulnerabilität unterschieden. Die **Vulnerabilität** ist das Maß der Anfälligkeit [BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE 2011]. Genauer wird in einer Vulnerabilitätskarte nicht nur eine Aussage darüber getroffen, ob eine Zone anfällig ist, sondern auch darüber, in welchem Maße („wie“) anfällig sie gegenüber Massenbewegungen ist. Außerdem, wird das Schadensausmaß als bewertende Größe mit einbezogen [FELL et al. 2008]

In dem Falle, dass nicht zwischen Anfälligkeits- und Vulnerabilitätskartierung unterschieden wird, ist die Aussage über das Maß der Anfälligkeit also die Vulnerabilität Bestandteil der Anfälligkeitskartierung. In dieser Arbeit wird, wie beschrieben, zwischen Anfälligkeits- und Vulnerabilitätskartierung unterschieden.

Zur Kartierung von **Gefahrenkarten** wird der Grad der Detailliertheit des Massenbewegungsverzeichnisses erweitert. Die Frequenz der Massenbewegungen wird mit in die Kartierung einbezogen [FELL et al. 2008]. Auf die Frequenz kann unterschiedlich eingegangen werden. Es können beispielsweise die Frequenzen der verschiedenen Arten von Massenbewegungen aufgezeigt werden oder die Frequenz von Massenbe-

wegungen gleicher Intensität. Resultierend wird ein Untersuchungsgebiet beispielsweise nicht nur, wie in der Vulnerabilitätskarte, in Zonen unterteilt, in denen viele Massenbewegungen stattfinden, sondern in Zonen, in denen viele Massenbewegungen in kurzen zeitlichen Intervallen stattfinden und darüber hinaus intensiv sind, also eine große potenziell zerstörerische Kraft umsetzen. Das Untersuchungsgebiet wird demzufolge in so genannte Gefahrenzonen eingeteilt. In diesen Zonen besteht die Möglichkeit, „für den Menschen selbst, seine Umwelt oder seinen Besitz“ [GEIER, HENTSCHEL & HIDAJAT 2005] einen Schaden zu erleiden. [GEIER, HENTSCHEL & HIDAJAT 2005; BASLER & PARTNER AG 2011]

Bis auf die Bestandskarte geben alle Karten mehr oder weniger detailliert Aufschluss über die Eintrittswahrscheinlichkeit von Massenbewegungen. Die **Risikokarte** ist ein Kartentyp der darüber hinaus das Schadensausmaß mit einbezieht¹. Risikokarten berücksichtigen die Art, und das Ausmaß des Schadens [GEIER, HENTSCHEL & HIDAJAT 2005; FELL et al. 2008].

Aus der Absicht heraus, Menschenleben und Sachgüter zu schützen, sollte es immer Ziel sein, eine Risikokarte zu erstellen. Es ist nicht prinzipiell notwendig, jeden Kartentyp praktisch zu entwickeln, allerdings sollten zumindest theoretisch die anderen genannten Kartentypen zur Erstellung einer Risikokarte durchlaufen werden. Die Risikokarte hat die größte Aussagekraft, aber auch einzelne der anderen Kartentypen können durchaus für bestimmte Zwecke ausreichend sein. Beispielsweise kann die Anfälligkeitskarte zur „Entscheidungshilfe dienen, wie die Landnutzung um anfällige Hänge umgesetzt werden soll“ [WICKI 2014].

¹ einige Definitionen der Vulnerabilitätskarte beziehen ebenfalls das Schadensausmaß mit ein.

In der nachfolgenden Abbildung werden drei der fünf hier beschriebenen Kartentypen beispielhaft visualisiert, ihre Bestandteile aufgelistet und ihre Komplexität bewertet.

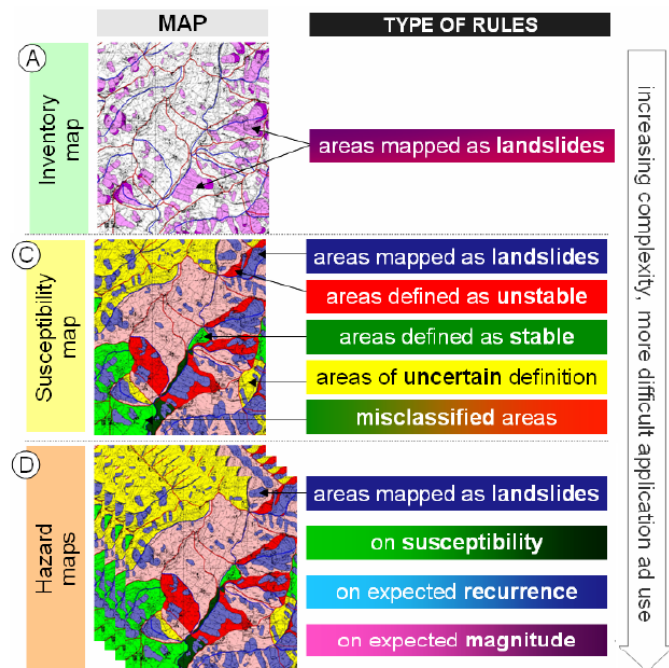


Abbildung 2: Beispiel Inventory map; Susceptibility map; Hazard map
[GUZZETTI 2005]

4 State of the Art

Der Stand der Wissenschaft und Technik wird im Folgenden unter mehreren Gesichtspunkten betrachtet. Erstens wird der generelle Forschungsstand zu Massenbewegungen und deren Analysen näher betrachtet. Anknüpfend daran wird der bisherige Stellenwert der Straßen als Anfälligkeitsfaktor für Massenbewegungen erläutert. Auch die für die Untersuchung verwendete Software, ein geographisches Informationssystem (GIS), und ihre Bedeutung für jegliche Kartierung von Massenbewegungen werden beschrieben. Die Möglichkeiten einer Risikoanalyse in der Bachelorarbeit werden ebenfalls aufgezeigt.

4.1 Forschungsstand

Im Folgenden wird versucht, einen Eindruck über den aktuellen Forschungsstand zu bieten. Dafür werden beispielhaft Studien über tektonische Aktivitäten und Massenbewegungen im Iran und deren Methodik vorgestellt.

Erdbeben sind eine der häufigsten Auslöser von Massenbewegungen. Sie können auch in großen räumlichen Abständen vom Epizentrum auftreten [LIAO & LEE 2000]. Wie bereits erwähnt ist der Iran auf Grund seiner tektonischen Begebenheiten überaus anfällig gegenüber Erdbeben und Massenbewegungen.

In nahezu allen Provinzen des Irans wird Forschung in diesem Fachbereich betrieben. So wurde in einem Artikel der Zeitschrift *Geomorphology* 2013 durch die Bewertung verschiedener morphometrischer Indexe eine Risikokarte für tektonische Aktivität über ca. 6400 km² rund um Teheran veröffentlicht (siehe Abb. 3). Ca. 26 % des abgebildeten Gebiets wurden eingestuft in die Klassen 1 (very high activity) und 2 (high activity). [BAGHA et al. 2014]

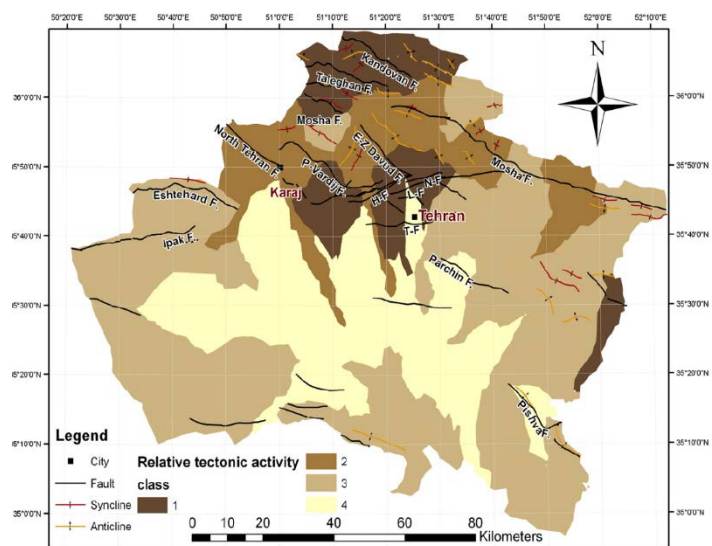


Abbildung 3: Relative tektonische Aktivität um Teheran [BAGHA et al. 2014]

In einer weiteren Studie über den Zusammenhang von Massenbewegungen und aktiven tektonischen Zonen wurde dieser sehr deutlich herausgestellt. In einem 125.000 ha großen Gebiet rund um Karaj (Millionenstadt in der Provinz Teheran) wurden sowohl eine Risikokarte für Massenbewegungen als auch eine für tektonische Aktivität entworfen. Die Risikokarten wurden miteinander verglichen. Das Ergebnis war unter anderem, dass 79 % der Testgebietsfläche sowohl zu der „moderately unstable zone“ für Massenbewegungen als auch zu den Zonen „very high tectonic activity“ und „high tectonic activity“ gehörten. Außerdem konnte auf Grundlage der Risikokarte für Massenbewegungen eine Risikokarte über tektonische Aktivität entworfen werden [SHARIFI, SOLGI & POURKERMANI 2013]

M. Sharifikia führt bereits 2008 eine Untersuchung über die Gefahr von Massenbewegungen im Zentralen Alborz durch. Das betrachtete Untersuchungsgebiet ist ca. 1000 km² groß und liegt sehr nah an dem in dieser Bachelorarbeit betrachteten Untersuchungsgebietes. M. Sharifikia stellt seine Ergebnisse aus der oben genannten Untersuchung der örtlichen Population des Untersuchungsgebietes gegenüber (siehe Tab. 3). Die Werte aus der Tabelle sollten durch die räumliche Nähe vergleichbar sein mit den in dieser Bachelorarbeit untersuchten Bergregionen.

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Gefahr vor Massenbewegung mit den betroffenen Flächen, Dörfern und der betroffenen Bevölkerung im zentralen Alborz

Landslide Hazard zone	Area on risk		Villages on risk		Population on risk	
	Area (sqkm ²)	(%)	No:	(%)	population	(%)
Very low landslide hazard zone	3.53	0.33	2	1.5	69	1.15
Low landslide hazard zone	137.73	13.13	33	24.62	17648	39.24
Moderate landslide hazard zone	532.90	50.82	79	58.95	23673	52.68
High landslide hazard zone	347.12	37.10	18	13.43	3360	7.47
Very high landslide hazard zone	27.15	2.58	2	1.5	215	0.48
Total	1048.43	100.00	134	100.00	44965	100.00

[SHARIFIKIA 2008]

In Bezug auf die Vergleichbarkeit zu anderen Bergregionen des Alborz sind vor allem die absoluten Zahlen aussagekräftig. Zwar sind es nur 0,48 % der Einwohner des untersuchten Gebietes, die in der Zone mit sehr hoher Gefahr vor Massenbewegungen leben, allerdings sind es absolut immerhin 215 Menschen, deren körperliche Unversehrtheit, deren Wohnraum und Sachgüter in sehr hoher Gefahr sind. [SHARIFIKIA 2008]

Massenbewegungen werden weltweit über verschiedenste Methoden und deren Kombinationen erfasst, z.B. durch Untersuchungen vor Ort; das Auslesen von Satelliten-, Luftbildern und Fotos; GPS Monitoring Systeme und Synthetic Aperture Radar (SAR) Interferenzmessverfahren [ZOBL 2003; PEYRET et al. 2008]. Sogar die automatische Klassifikation von Massenbewegungen über digitale Luftbildanalysen hat bereits erfolgreich stattgefunden [VAN WESTEN, CASTELLANOS & KURIAKOSE 2008 nach HERVÁS et al. 2003; WHITWORTH, GILES & MURPHY 2005]. Die Vielfalt an Methoden bringt große Qualitätsunterschiede mit sich. Somit ist auch die Aussagekraft jeder weiteren Analyse dieser Daten abhängig von der Qualität der angewandten Methode zur Erfassung von Massenbewegungen und ihren Ergebnissen.

Auch die Interpretation der lokalisierten Massenbewegungen durch eine Risikokartierung wird auf viele verschiedene Weisen ausgeführt. Diese erweisen sich allerdings je nach verfolgter Absicht als marginal besser oder schlechter. [MOHAMMADY, POURGHASEMI & PRADHAN 2012] Gemein haben alle Methoden, dass sie unter anderem mit einem GIS-Programm angefertigt und ausgewertet werden.

4.2 Straßen als Anfälligkeitsfaktor für Massenbewegungen

Es gibt mehrere Momente, welche Massenbewegungen auslösen. Darunter fallen anthropogen beeinflussbare Momente wie Erschütterungen, Belastungsänderungen und Geometrieänderungen. Häufig können Straßen bzw. Straßenbau diese Momente hervorrufen, beispielsweise durch:

- Sprengungen/Rammarbeiten
- rollenden Verkehr
- Aufschüttungen
- Versteilung des Hanges durch Unterschneidung bei Baumaßnahmen, z. B. bei Abtrag am/des Böschungsfuß(es) oder Herstellung von Einschnitten in der Böschung [ULLRICH 2012]

Wie wichtig der Faktor Straße sein kann, wird anhand mehrerer Beispiele stattgefundener Massenbewegungen klar:

- **Bonn:** „Ein Beispiel (nach Müller 1987): Beim Bau einer Autobahn bei Bonn trat unerwartet eine Rutschung auf. Etwa 2 Millionen Kubikmeter Boden bewegten

sich in Richtung der gerade ausgehobenen Trasse.“ [GENSKE 2014 S. 224 nach MÜLLER 1987]

- **Gasen und Haslau (bei Graz in Österreich):** „Laut einer Pilotstudie der GBA (Tilch et. al. 2007) sind 74 % aller Abrissbereiche im Bereich von Böschungen, also anthropogen angelegten Hängen, angesiedelt. Bei näherer Betrachtung fallen vor allem die berg- und talseitigen Böschungen des Straßen- und Wegnetzes auf, denn hier sind zwei Drittel aller Abrissbereiche aufgetreten“ [PETSCHKO 2008 nach TILCH, KAUTZ & KOCIU 2007].
- **Hongkong:** „Beim Versagen einer Straßenböschung [durch starke Niederschläge] [...] begrub die Masse 71 Menschen. [...] Eine Hangflanke [kollabierte] einige Stunden später. Am Hangfuß war ein temporärer Aushub vorgenommen worden. Die abfahrende Masse zerstörte ein zwölfstöckiges Hochhaus und tötete 67 Menschen. Beide Hangrutschungen hatten einen nachhaltigen Einfluss auf das Risikomanagement in Hongkong“ [GLADE & DIKAU 2001]

Ansichts der Vielzahl von Massenbewegungen in der Nähe von Straßen ergibt sich eine Relevanz für die Untersuchung der Zusammenhänge. Solche Untersuchungen werden bereits durchgeführt.

Auf Dominica werden für das Caribbean Handbook on Risk Information Management zwei Anfälligkeitskarten für Massenbewegungen entworfen. Die erste mit dem Namen „national scale landslide susceptibility map“ wird mit dem Ziel konstruiert, eine Übersicht der allgemeinen Anfälligkeit der Insel gegenüber Massenbewegungen zu erhalten. Unter anderem werden für diese Karte die Anfälligkeiten für Straßen bzw. Straßenabschnitte gegenüber Massenbewegungen untersucht. Daraus ergibt sich eine „kleine“ Anfälligkeit für 59,2 % der Straßenabschnitte, eine „mittlere“ für 18,7 % und eine „hohe“ Anfälligkeit für 22,1 %.

Die Überlegung kommt auf, dass „die Straße eventuell beides ist, der ursächliche Faktor für Massenbewegungen“ [WESTEN & YIFRU 2016] und der den Massenbewegungen ausgesetzte Faktor. Anlässlich dieser Annahme wird eine zweite Anfälligkeitsanalyse gegenüber Massenbewegungen durchgeführt. Sie trägt den Namen „road analysis“ und stützte sich lediglich auf die Anfälligkeit von Straßenabschnitten. Außerdem beinhaltet diese zweckbezogene Faktoren wie z.B. die Hangneigungswinkel um Straßen herum. Auch die Lage und Qualität der Abtragungsböschungen und der Straßenentwässerungssysteme wird mit einbezogen. Das geschieht bei der Entwicklung

der „national scale landslide susceptibility map“ nicht. Die neue Analyse ordnet den Straßenabschnitten höhere Anfälligkeiten zu. Verglichen werden die Ergebnisse in der folgenden Tabelle. [WESTEN & YIFRU 2016]

Tabelle 4: Vergleich Straßenabschnittsanfälligkeit der "road analysis" und der "national scale susceptibility map"; Dominica

From road analysis	Landslide susceptibility class		
	Low	Moderate	High
Road length (km)	106.3	106.8	103.4
Percentage	33.6	33.8	32.7
From national scale susceptibility map			
Road length (km)	187.3	59.3	69.9
Percentage	59.2	18.7	22.1
Known landslides	8	54	241

[WESTEN & YIFRU 2016]

Auch eine Untersuchung über Massenbewegungen in einem 31 km² großen Areal der Yogyakarta Provinz der indonesischen Insel Java bestätigt, dass Straßen einen großen Einfluss auf das Auslösen von Massenbewegungen haben. In dieser Studie haben Straßen den größten anthropogenen Einfluss auf Massenbewegungen. Und auch darüber hinaus werden die meisten von 131 stattgefundenen Massenbewegungen mit einer Hangneigung von 20°-30° und Straßen bzw. Straßenbau in Verbindung gebracht. Die Abbildungen 4 und 5 spiegeln diesen Einfluss graphisch und statistisch wieder. Anhand Abbildung 5 lässt sich erkennen, dass sowohl die prozentuale Anzahl der stattgefundenen Massenbewegungen als auch deren Flächendichte unter 25 m Abstand zu Straßen weitaus größer sind als solche größeren Abstandes. Die Autoren beschreiben es wie folgt: „Die generelle Tendenz geht dahin, dass mit steigender Entfernung zur Straße die stattfindenden Massenbewegungen sinken. Dieser Trend offenbart, dass Straßennetze eine wichtige Rolle bei der Auslösung von Massenbewegungen einnehmen [...] besonders durch das Anschneiden von Hängen“ [HADMOKO et al. 2009 Übers. d. Verf.]

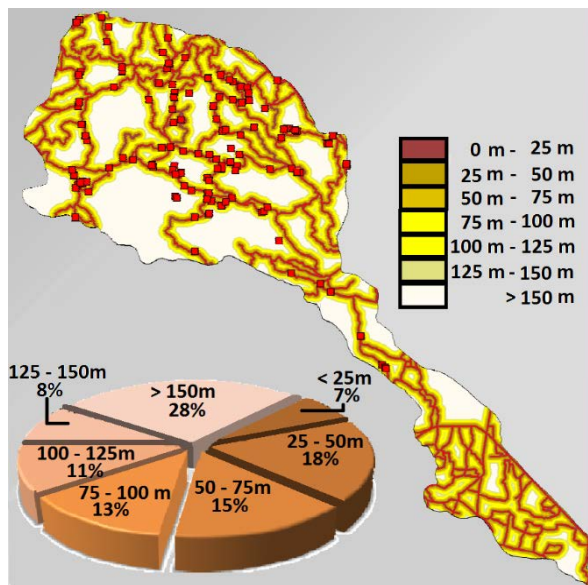


Abbildung 4: Abstand der MB von den Straßen; mit lokalisierten MB als rote Quadrate; Indonesien [HADMOKO et al. 2009 bearb. d. Verf.]

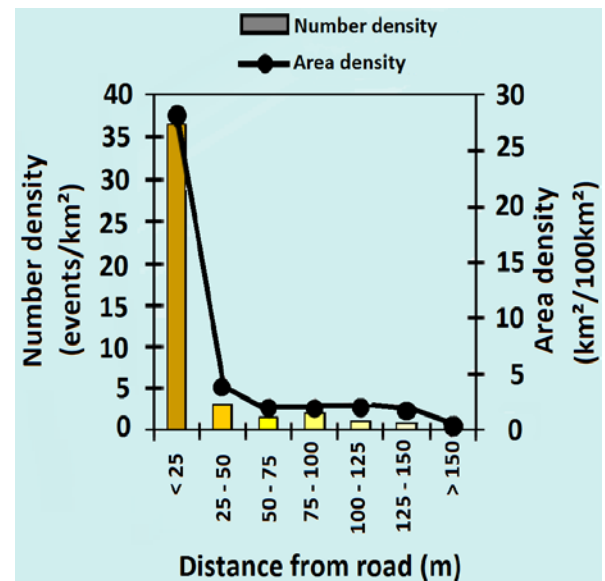


Abbildung 5: Verhältnisse MB und Straßenabstände; Indonesien [HADMOKO et al. 2009 bearb. d. Verf.]

Nur etwa 25 km nördlich des in dieser Arbeit betrachteten Untersuchungsgebietes, auf der anderen Seite des Elbursgebirge, werden in einem ca. 160 km² großen Gebiet der Provinz Mazandaran zwei Anfälligkeitskarten gegenüber Massenbewegungen entwickelt. Mittels der Gewichtung von Entropien und der Erhebung bedingter Wahrscheinlichkeiten werden die Karten entworfen. Auch die Distanz zu Straßen wird dabei betrachtet und bewertet. 55 % der Massenbewegungen liegen außerhalb von einem 500 m Radius zu Straßen. Ca. 12 % liegen unter 100 m Entfernung zu Straßen. Der Rest verteilt sich gleichmäßig dazwischen. Der Faktor Straße wird in dieser Untersuchung von den durchführenden Wissenschaftlern mit der drittgrößten Gewichtung für Anfälligkeiten von Massenbewegungen bewertet. Vergleicht man die sich als genauer herausstellende Anfälligkeitskarte nach dem Entropie-Index mit dem Straßennetz der Region lassen sich große Übereinstimmungen sehen (siehe Abb. 6 und Abb. 7). [POURGHASEMI, MOHAMMADY & PRADHAN 2012]

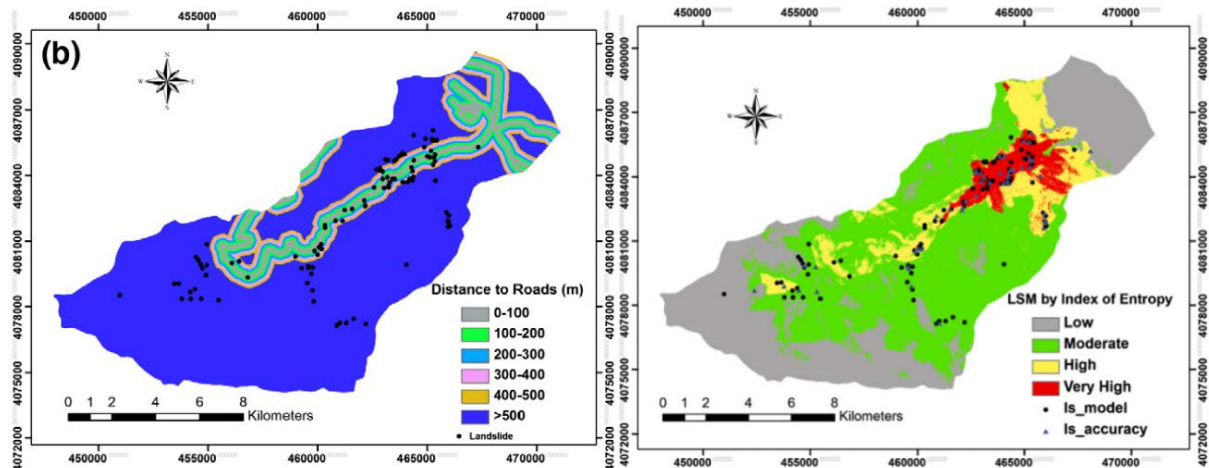


Abbildung 6: Distance to Roads Gebiet in Mazandaran **Abbildung 7:** Landslide susceptibility Map Index of Entropy Gebiet in Mazandaran
[POURGHASEMI, MOHAMMADY & PRADHAN 2012] [POURGHASEMI, MOHAMMADY & PRADHAN 2012]

Auch im Untersuchungsgebiet dieser Bachelorarbeit haben bereits Studien stattgefunden, welche belegen, dass Straßen erheblichen zur Auslösung von Massenbewegungen beitragen. In der Mittelstadt Lavasan in der Provinz Teheran wird der Effekt von Massenbewegungen auf die Micro-Umwelt untersucht. Dafür werden unter anderem verschiedene Auslösefaktoren bewertet. Den Faktoren wird jeweils ein so genannter Surface Percentage Index (SPI) zugewiesen. Dieser wird definiert als der Quotient zwischen der von Massenbewegungen betroffenen Fläche des jeweiligen Faktors und der gesamten Fläche die dieser Faktor im Untersuchungsgebiet einnimmt. Der Quotient wird mit 100 multipliziert. Tabelle 5 vergleicht die verschiedenen Faktoren anhand deren SPI's. Außerdem werden sowohl die Faktoren als auch die Gruppen der Faktoren (z.B. Hauptstraße; Nebenstraße) klassifiziert. [ARZJANI, ASADIAN & VARAVIPOUR 2011]

Tabelle 5: Häufigkeit von Massenbewegungen nach Auslösern [SPI: Surface Percentage Index; W: Weight; R: Rate; G:Group]; Lavasan, Teheran

Factor	Wht (w)	G	Total area (Km ²)	Affected area (Km ²)	SPI	Rate (R)
Rainfall (mm)	2	<438	16	2	12	1
		438-650	456	95	20	8
		>850	228	10	4	3
Distance from fault (km)	1	<2	120	95	7	8
		5-Feb	450	150	3	3
		>5	130	80	6	5
Aspect	1	N				
		NE	56	0	0	1
		E	40	12	30	4
		SE	92	8	8	3
		S	372	120	32	8
		SW	192	115	59	5
		W	36	8	22	2
		NW	16			1
Slop	4	Flat	4			1
		0.655 - 3.434	79	23	29	3
		3.434 - 6.039	121	34	28	5
		6.039 - 8.934	193	17	8	3
		8.934 - 12.1176	147	33	22	8
		12.1176- 15.417	167	12	13	5
Road	2	Main road	140	45	32	8
		Minor road	35	5	14	3
		4wl drive	93	21	23	8
		Railway	0	0	4	1
		Ect	175	28	16	6
		Very low	79	13	16	1
Earthquake	3	Low	87	17	20	2
		Medium	121	19	15	3
		High	85	17	20	8
		Very high	80	10	12	5
		Extra high	44	1	2	1
Lithology	5	1	375	65	17	9
		2	11	1	9	8
		3	37	2	5	5
		4	31	3	9	8
		5	21	2	9	8
		7	6	1	2	5
		8	62	5	7	6
		9	11	1	9	9
		10	22	4	2	5
		11	9	2	2	7
		12	5	1	3	3
		13	15	10	6	7
		14	16	11	7	7
		15	5	1	2	4
		16	78	6	7	7
		17	13	2	15	5

[ARZJANI, ASADIAN & VARAVIPOUR 2011]

Es ist ersichtlich, dass der Faktor Straßen das viertstärkste Gewicht der aufgewiesenen sieben Faktoren einnimmt. Errechnet man den SPI aller Straßen und lässt die Schienen außer Acht, da hier keine gesamten und betroffenen Flächen angegeben sind, kommt man auf 22,25 % der gesamten Straßenfläche, welche von Massenbewegungen im untersuchten Gebiet betroffen sind. Auch die Quoten (Rate) der Gruppen (Schienen ausgeschlossen) weisen mit 3, 6, 8, 8 im Vergleich zu den anderen Faktorgruppen einen hohen Einfluss auf Massenbewegungen auf. [ARZJANI, ASADIAN & VARAVIPOUR 2011]

Analysiert wird der Einfluss der Straßen auf die Massenbewegungen oder auch der Einfluss der Massenbewegungen auf die Straßen häufig mithilfe von „Straßenpufferanalysen“. Mehrere Korridore oder sogenannte Puffer werden anhand von vordefinierten Abständen um die Straßen gelegt. Durch die Wertung der diversen Abstände lassen sich verschiedene Einflüsse ableiten. Die Anzahl der Puffer und auch der Umfang ihrer Abstände variiert in der Literatur. So wird der Einfluss bzw. der Abstand in 5 bis 8 Klassen unterteilt. Diese Klassen sind mal in gleiche Intervalle und mal in ungleiche Intervalle gegliedert. Die kleinsten gewählten Abstände sind zwischen 25 m und ca. 300 m groß. Die größten Puffer liegen zwischen >150 m und ca. 1500 m. [ANDERSON et al. 2015; AVINASH et al. 2008; SHAHABI & HASHIM 2015; HADMOKO et al. 2009; MOHAMMADY, POURGHASEMI & PRADHAN 2012] Methodische Begründungen der Anzahl an Klassen oder deren Abstände sind nicht vorhanden. Meist wird ausprobiert, welche Abstände Auffälligkeiten aufweisen.

4.3 Geographisches Informationssystem

In Punkt 6.2 wird beschrieben, dass die Analyse der Problemstellung mit einem Programm für geographische Informationssysteme (GIS) stattfinden soll. Für diese Arbeit wird das GIS Programm ArcGIS von der Firma ESRI verwendet.

GIS ist ein EDV-gestütztes Hilfsmittel für die „Verarbeitung und kartographische Darstellung von raumbezogenen Informationen [...]. Es ermöglicht deren Abruf, Verknüpfung, Überlagerung und Aktualisierung. Eine interdisziplinäre Vorgehensweise bei der Bearbeitung komplexer Vorgänge wird wesentlich erleichtert.“ [BRAUN & SAUER 2004]

Die Darstellungen fundieren auf zwei Arten von Daten. Zum einen auf den Geometriedaten, welche im Falle dieser Arbeit z.B. die Lage der Straßen und MB auf der Karte kennzeichnen. Zum anderen auf den Sachdaten. Diese beschreiben die Geometriedaten inhaltlich. In dieser Arbeit könnte dies beispielsweise die Klassifizierung der Massenbewegungen in „große MB“ und „kleine bis mittlere MB“ sein. Die Sachdaten werden in Form von so genannten Attributtabeln mit den Geometriedaten verknüpft. Die verknüpften Daten sind interdisziplinär nutzbar und erleichtern demzufolge komplexe Vorgänge wesentlich. [BRAUN & SAUER 2004]

Die Geometriedaten können in Form von Raster- oder Vektordaten visualisiert werden.

Rasterdaten sind vergleichbar mit Bildern. Eine „Serie von Punkten mit unterschiedlichen Farb- oder Grauwerten“ [LIEBIG & MUMMENTHEY 2005] definiert die Rasterdaten. Die Zellen, aus denen die Rasterdaten bestehen, sind gleichmäßig angeordnet, rechteckig und werden wie beim Bild auch Pixel genannt. [LIEBIG & MUMMENTHEY 2005]

Vektordaten definieren sich über Punkte, welche mindestens mit einer XY-Komponente (manchmal mit einer zusätzlichen Z-Komponente) in einem kartesischen Koordinatensystem verzeichnet werden. [LIEBIG & MUMMENTHEY 2005] Um Linien oder Flächen zu erzeugen, werden mehrere solcher Punkte miteinander verbunden. Dadurch, dass Vektordaten über Koordinaten und nicht über Zellen definiert werden, lassen sie sich im Gegensatz zu den Rasterdaten in jeder Auflösung darstellen.

Beide genannten Daten lassen sich in mehreren Dateiformaten abbilden. Für diese Arbeit werden Rasterdaten in dem gängigsten von 60 in ArcGIS unterstützten Dateiformaten verwendet. Das Format nennt sich Tagged Image File Format (TIFF). Die Vektordaten werden als Shapefile verwaltet. Es ist das Standardformat der Vektordaten.[BRAND 2012] „Das Shapefile besteht aus mindestens drei Dateien, die zusammen als Shapefile von ArcGIS erkannt werden. Die Dateierweiterung *.shp enthält die Geometriedaten, die Dateierweiterung *.dbf enthält die Sachdaten [...] und die Dateierweiterung *.shx verknüpft Geometrie- und Sachdaten. Weitere Dateierweiterungen können hinzukommen“[BRAND 2012].

GIS wird im Folgenden genutzt, um die Zonierung von Massenbewegungen und Straßen im Untersuchungsgebiet darzustellen. Außerdem werden mit Hilfe von ArcGIS zwei räumliche Analysen durchgeführt, welche den Zusammenhang zwischen Massenbewegungen und Straßen untersuchen.

ArcGIS hat für diese Untersuchung einen besonderen Vorteil gegenüber anderen GIS Programmen: durch eine Kooperation der Entwicklerfirma ESRI und Bing können in ArcGIS Projekten Luftbildaufnahmen von „BingMaps“ hereingeladen werden (siehe 6.2.1).

4.4 Risikoanalyse

In vielen Sektoren der Gefahrenabwehr, wie z.B. dem Arbeitsschutz und dem Bevölkerungsschutz, haben sich Risikoanalysen als Methode erwiesen, welche mit geringem Aufwand gute Ergebnisse erzielen [BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE 2010].

Wie in 3.4 beschrieben wird als langfristiges Ziel eine möglichst genaue Angabe zur Eintrittswahrscheinlichkeit sowie über das Schadensausmaß von Massenbewegungen definiert. Nur so sind Menschen und Sachgüter effektiv zu schützen.

Allerdings ist es aufgrund der Komplexität der Auslösung und des Prozesses einer Massenbewegung nach heutigem Stand der Wissenschaft und Technik noch schwer realisierbar, eine konkrete Eintrittswahrscheinlichkeit und ein konkretes Schadensausmaß von Massenbewegungen zu definieren. Gängige Methoden zur Aufklärung oder Warnung vor Massenbewegungen decken meist nur Teile der auslösenden und prozessbestimmenden Faktoren ab. Beispielsweise gibt es Frühwarnsysteme für durch

hohe Niederschläge ausgelöste Massenbewegungen. [FEKETE 2004; SASSA & CANUTI 2009]

Aus der Peripherie betrachtet lässt sich allerdings eine relativ sichere Aussage treffen: Vor allem bedingt durch die tektonischen Begebenheiten des Irans ist die Eintrittswahrscheinlichkeit gegenüber Massenbewegungen (insbesondere durch Erdbeben) vergleichbar hoch [BARTOSCHEK & KRON 2013; MICHAEL 2015]. Auch das Schadensausmaß wäre entsprechend groß, da die Stadtkerne den Bergspitzen verhältnismäßig nah sind [NILI 2012]. In ländlichen Gebieten Irans existieren vielfach Lehmhäuser, welche keinen mit anderen Bauarten vergleichbaren Widerstand gegenüber Massenbewegungen aufweisen. Deshalb wäre das Schadensausmaß in ländlichen Gebieten ebenfalls groß. [LÜDEMANN 2013]

5 Untersuchungsgebiet und darin betrachtete Teilgebiete

Um die geplanten Massenbewegungsanalysen durchführen zu können, wird eine geschlossene räumliche Einheit in Form eines Untersuchungsgebietes festgelegt [BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE 2010].

Das **Untersuchungsgebiet** erschließt, wie der Titel schon verrät, die drei iranischen Provinzen Alborz, Qazvin und Teheran. Es erstreckt sich ca. von 36°58' bis 34°32'N und 52°6' bis 48°35'O (siehe Abb. 8). Die umfasste Fläche beträgt ca. 53.200 km² und wird abgegrenzt von den Grenzen der drei Provinzen. Ein Ausschnitt des Elbursgebirges liegt im Norden des Untersuchungsgebiets. Der Elburs ist bis zu 5600 m hoch. Somit können Massenbewegungen eine wesentlich größere Dimension annehmen als in flachen Regionen.

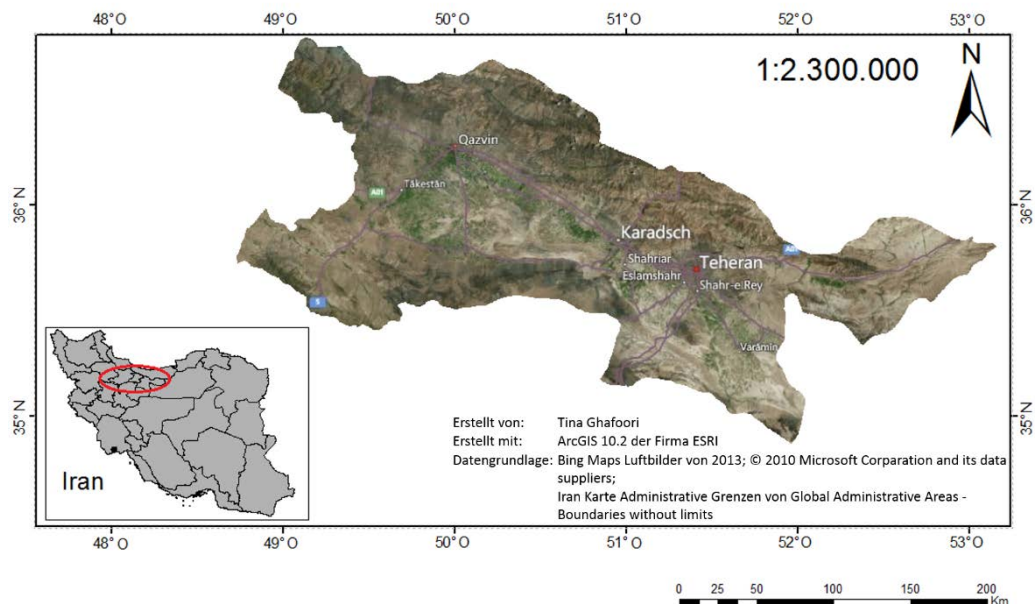


Abbildung 8: Untersuchungsgebiet

Für eine geplante räumlich vergleichende Analyse (siehe 6.2.3.1) werden weitere Gebiete innerhalb des Untersuchungsgebietes definiert. Darunter sind drei so genannte „Teilgebiete“ und ein „Alternativgebiet“.

Das erste Teilgebiet trägt den Namen „**Testgebiet**“. Die Abmaße werden aus dem gleichnamigen Gebiet der Diplomarbeit „Massenbewegungen im Elbursgebirge“ (2004) von A. Fekete übernommen. Somit kann in einer **weiteren Studie** ein zeitlicher Vergleich aktueller MB und Straßen zum Jahre 2004 erstellt werden. Folgende Eckkoordinaten grenzen das Testgebiet ein: 36°20'13"N/ 50°8'45"O, 36°25'14"N/ 50°8'41"O, 36°2'61"N/ 50°20'10"O und 36°21'5"N/ 50°20'12"O. Das Testgebiet hat eine Fläche

von 153 km². Die Höhenniveaus liegen zwischen 980 m und 2540 m ü. NN. [FEKETE 2004] „Die südliche Grenze ist gleichzeitig eine Klimascheide und Wasserscheide am Gebirgskamm gegenüber der südlichen Gebirgsabdachung. Nach Norden folgt von dort ein klimatisch homogener Gebirgsraum [...]“ [FEKETE 2004]

Die Massenbewegungen häufen sich lokal auffällig. Deshalb wird beschlossen, die beiden weiteren Teilgebiete anhand der „Schwerpunkte der Massenbewegung“ zu definieren. Das heißt, in den Layern „große MB“ und „kleine bis mittlere MB“ werden die Punkte, welche die Massenbewegungen lokalisieren, miteinander verbunden. Ausgeschlossen davon bleiben „Ausreißer“, also solche Punkte, die weit weg von anderen Massenbewegungen stattgefunden haben. Es entstehen die beiden Teilgebiete „**Hotspot große MB**“ und „**Hotspot kleine bis mittlere MB**“. Abbildung 9 zeigt beispielsweise den Layer „Hotspot große MB“ und zusätzlich die Punkte „große MB“. Die Abbildung verdeutlicht, welche Massenbewegungen bei der Erstellung des Teilgebiets „Hotspot große MB“ als lokale Ausreißer gesehen werden.

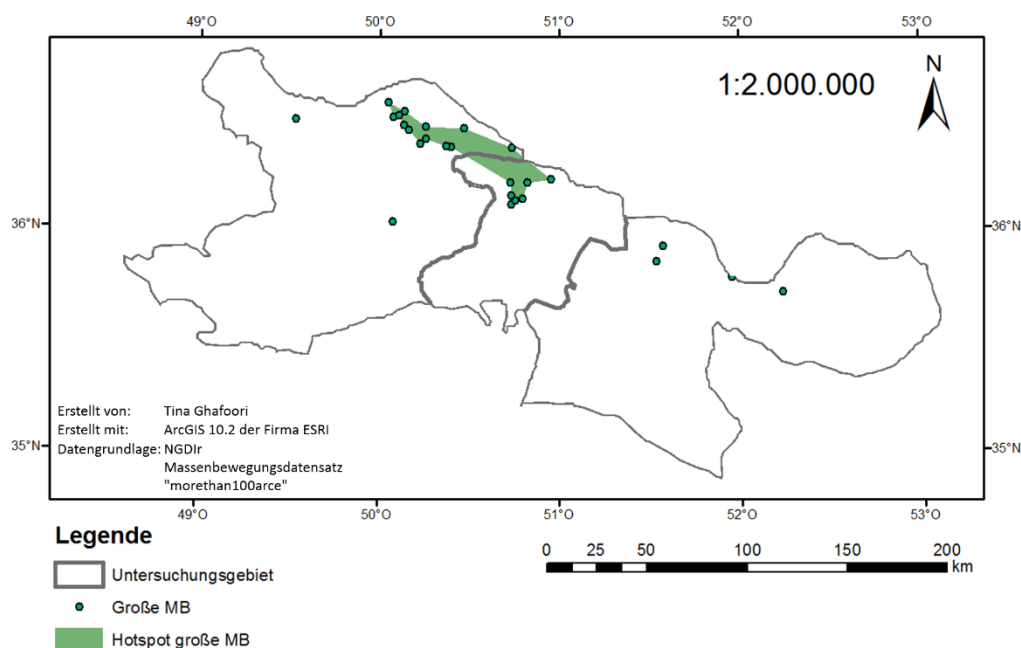


Abbildung 9: Hotspot-Bildung Beispiel große MB

Auf Abbildung 10 sind nachfolgend alle drei Teilgebiete zu sehen.

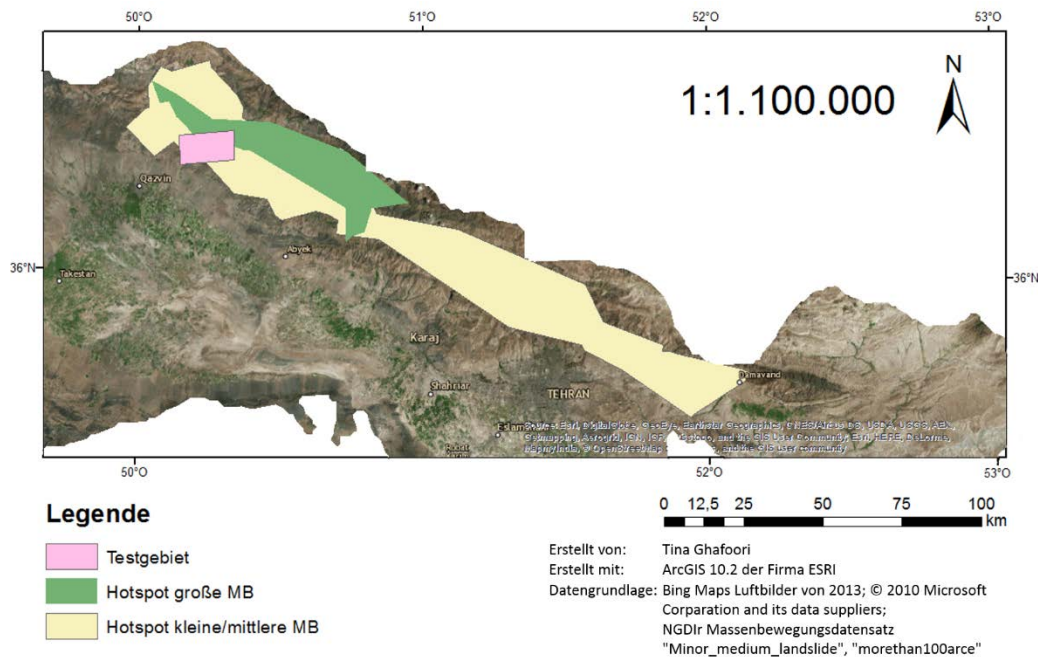


Abbildung 10: Teilgebiete

Das Teilgebiet „Hotspot große MB“ erstreckt sich ca. von 50°2'44"O bis 50°57'11"O und 36°34'36"N bis 36°7'2"N und ist ca. 908 km² groß. Das Teilgebiet „Hotspot kleine bis mittlere MB“ erstreckt sich ca. von 49°57'12"O bis 52°11'10"O und 36°38'5"N bis 35°37'5"N und ist 3727 km² groß.

Resultierend aus der Größe des Untersuchungsgebietes und dessen Datenvolumen wird für einige Bearbeitungsschritte der Analyse (siehe 6.2.3.2) ein alternatives kleineres Gebiet benötigt. Es wird entschieden, dieses so genannte „Alternativgebiet“ an der Schnittstelle aller drei Teilgebiete festzulegen (siehe Abb. 11). Das Alternativgebiet ist 1000 km² groß und umschließt durch seine räumliche Lage Bergregionen außerhalb der großen Städte. Es erstreckt sich von 50°0'40"O bis 50°21'52" und 36°38'12"N und 36°19'31"N und dehnt sich über eine Region aus, in welcher viele große wie auch kleine bis mittlere Massenbewegungen stattgefunden haben. Auf Grund der genannten Merkmale (Lage und Größe) wird das Alternativgebiet in einigen Bearbeitungsschritten als repräsentative Alternative für das Untersuchungsgebiet gesehen.

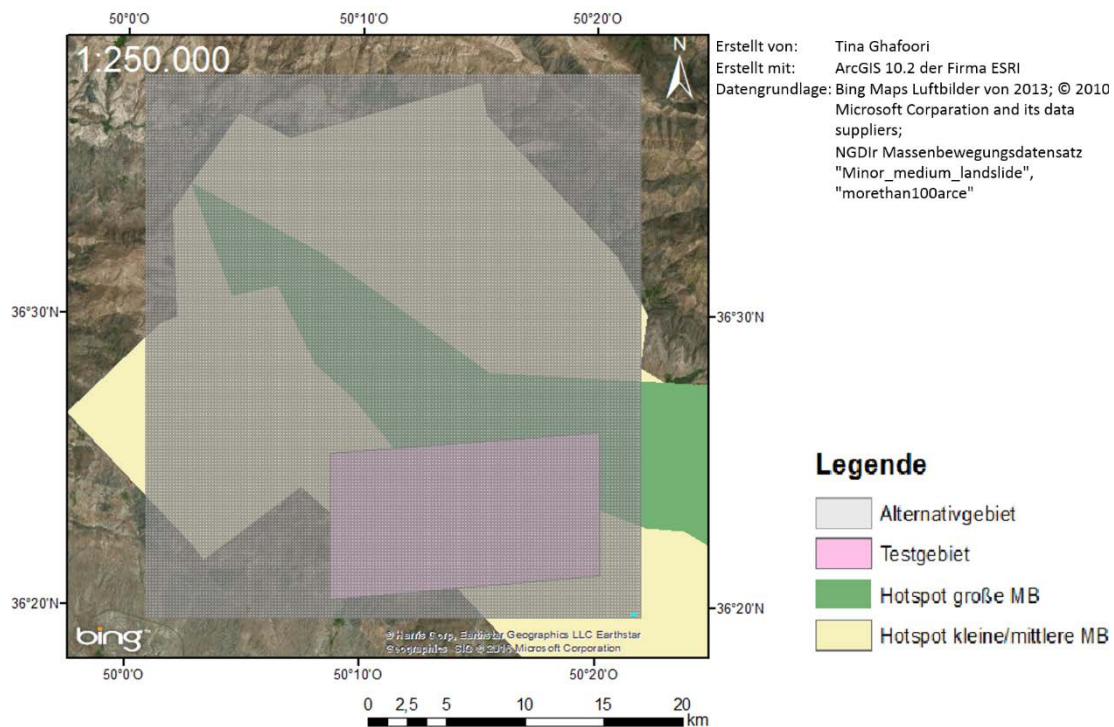


Abbildung 11: Alternativgebiet

Nähere geologische Angaben zu den Gebieten werden ausgelassen, da in dieser Arbeit nicht auf ihrer Grundlage analysiert wird. Es werden lediglich lokale Merkmale von Straßen und Massenbewegungen zweidimensional betrachtet.

6 Methodik

Im Folgenden wird das methodische Vorgehen der Untersuchung erläutert. Zunächst wird die Art der Literaturrecherche näher beschrieben, ebenso werden die Datenbeschaffung, die Qualitätsüberprüfung der Daten, deren Kartierung und Analyse erläutert. Die ausschlaggebenden Bearbeitungsschritte anhand von ArcGIS werden notiert und beschrieben.

Die sorgfältige Dokumentation soll die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse gewährleisten [BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE 2010]. Daher erfolgen alle genannten Erläuterungen detailliert, damit diese Analyse erweitert oder mit anderen Grundparametern (Untersuchungsgebiet, Datenbanken etc.) wiederholt werden kann. Außerdem kann anhand des beschriebenen methodischen Vorgehens die Aussagekraft dieser Arbeit abgeleitet werden. Auch die Aussagekraft und der Zeitaufwand einer vergleichbaren Arbeit mit ausgewechselten Grundparametern kann eingeschätzt und optimiert werden.

6.1 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche stellt das Fundament dieser Arbeit dar. Vor allem wissenschaftliche Artikel der Fachgebiete Geographie, Geologie bzw. Ingenieursgeographie und Ingenieursgeologie werden genutzt. Diese bieten beispielhafte Einblicke in die Vielseitigkeit von Massenbewegungen, und daher viele verschiedene Möglichkeiten, Massenbewegungen zu erfassen und zu analysieren. Lehrbücher werden vor allem für Definitionen, und für den Erhalt allgemeiner Fakten genutzt.

Gesucht wird meist über den „Katalog Plus“ der Bibliothek der TH Köln. Durch eine E-Mailanfrage bei der Service-Beratung der Hochschulbibliothek TH Köln (persönliche Auskunft durch Frau Beate Osterkamp am 18.04.16) konnte in Erfahrung gebracht werden, dass die über den „Katalog Plus“ durchsuchten Datenbanken aus diversen Quellen bestehen, die alle im Ebsco-Index vorhanden sind. Ebsco ist einer der drei größten weltweiten Anbieter für Informationsquellen. Grob lässt sich das Angebot (des „Katalog Plus“) in folgende drei Bereiche aufteilen:

Daten die von der Bibliothek geliefert werden [OSTERKAMP, SERVICE-BERATUNG-FEEDBACK HOCHSCHULBIBLIOTHEK TH KÖLN 18.04.16], darunter befinden sich

ca. 52.000 indexierte E-Books und ca. 10.000 E-Zeitschriften der elektronischen Zeitschriftenbibliothek (EZB) der Universitätsbibliothek Regensburg.

Der zweite Bereich setzt sich zusammen aus den für die TH Köln lizenzierten E-Ressourcen und Datenbanken naturwissenschaftlicher und technischer Disziplin. Darunter sind z.B. Science Direct, Scopus, TEMA.

Außerdem werden Open-Access-Angebote gelistet wie z.B. BASE und das Directory of Open Access Journals. [OSTERKAMP, SERVICE-BERATUNG-FEEDBACK HOCHSCHULBIBLIOTHEK TH KÖLN 18.04.16]

In diversen Kombinationen werden vor allem die englischen Begriffe Landslides, Mass Movements, inventory, Alborz, Alborz Mountains, Iran, trigger, road, railway, und GIS gesucht. Deutsche Literatur ist sehr viel seltener als englische Literatur. Ihre Häufigkeit nimmt zunehmend ab, je detaillierter die Suchanfrage ausfällt.

Für die Beschaffung des Massenbewegungs-Verzeichnisses werden einzelne Organisationen oder Wissenschaftler persönlich kontaktiert (siehe 6.2.1).

6.2 Untersuchung anhand von ArcGIS

„Um [Massenbewegungen] [...] zu beurteilen, sind ihre Ursachen zu klären. Um die Ursachen zu klären, ist das Gelände zu kartieren und ingenieurgeologisch zu untersuchen“ [GENSKE 2014]. Als eine Ursache wird die straßen- und schienengebundene Verkehrsinfrastruktur vermutet. Nun gilt es die Ursache zu untersuchen.

Abbildung 12 zeigt das chronologische Vorgehen der Untersuchung anhand von ArcGIS. Als erstes muss ein Untersuchungsgebiet bestimmt werden. Zusätzlich werden mehrere Teilgebiete des Untersuchungsgebietes festgelegt, welche genauer untersucht werden oder der Unterstützung der Analysen dienen (siehe Punkt 5 und 6.2.3.2). Es folgt die Dateneinholung und deren Qualitätsprüfung. Als drittes werden die geprüften Daten visuell dargestellt, um schlussendlich zwei Analysen an ihnen durchführen zu können. Die daraus resultierenden Ergebnisse und deren Diskussion werden unter Punkt 7 und 8 festgehalten.

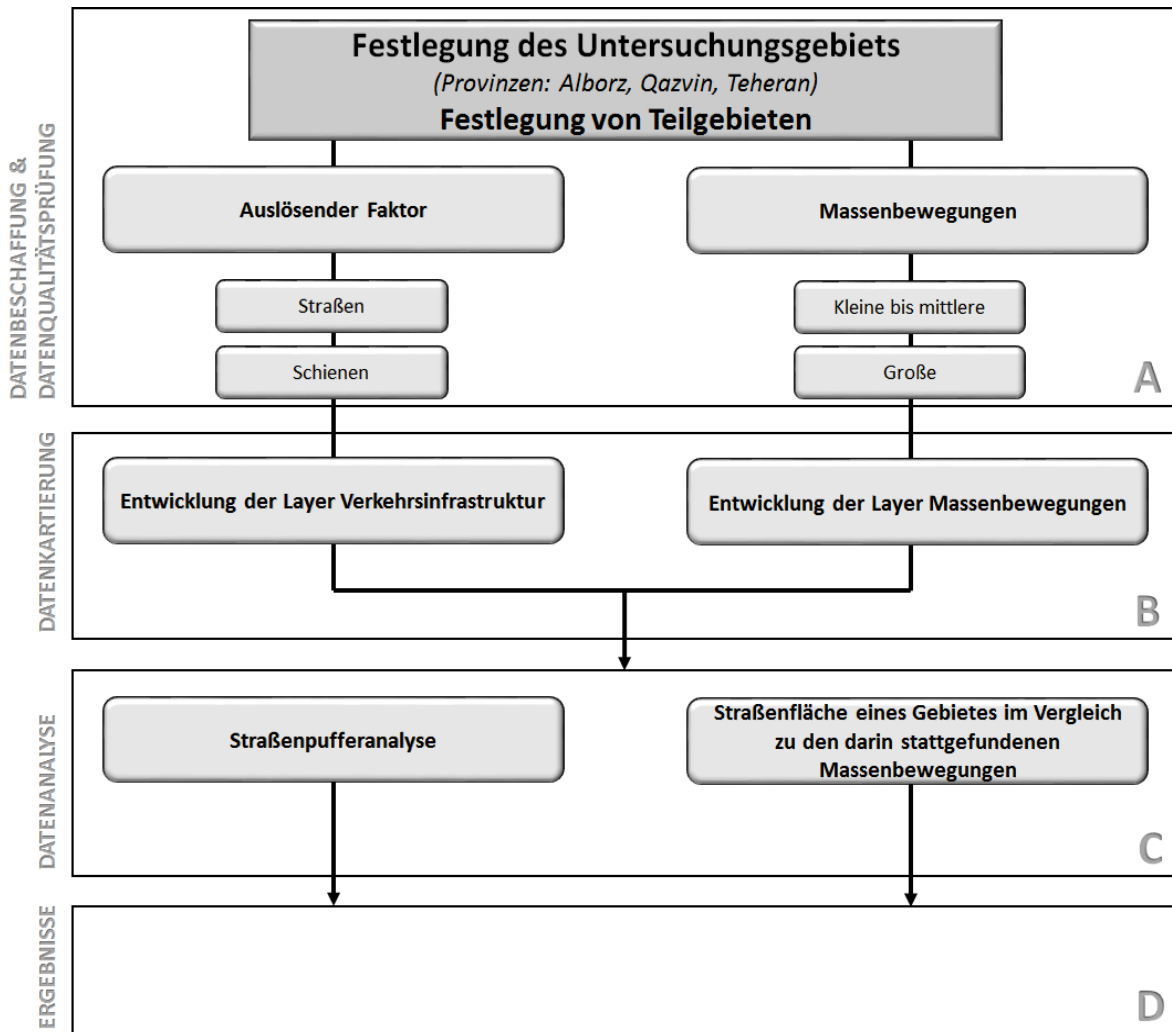


Abbildung 12: Ablaufdiagramm Methodik

6.2.1 Datenbeschaffung und Datenqualitätsprüfung

Von höchster Bedeutung für Analysen sind die verwendeten Daten und Ihre Qualitäten [VAN WESTEN, CASTELLANOS & KURIAKOSE 2008; FELL et al. 2008]. In ihren Beschränkungen liegt das größte Fehlerpotenzial von jeder Art der Massenbewegungskartierung [FELL et al. 2008] (siehe Punkt 8.1). Fehler in den Daten produzieren mit jedem Bearbeitungsschritt Folgefehler. Auch fehlende Daten führen im Resultat zu Fehlinterpretationen [ARDIZZONE et al. 2002]. Beispielsweise schwächen nicht verzeichnete Massenbewegungen die analysierte Anfälligkeit ab. Sie wird fälschlicherweise für geringer gehalten als sie ist.

Das mögliche resultierende Ausmaß der Arbeit mit Datenbanken verschiedener Quantität und Qualität wird an folgendem Beispiel deutlich: In einer Studie über die „Auswirkungen von Kartierungsfehlern auf die Zuverlässigkeit von Massenbewegungsgefahr-

renkarten“ [ARDIZZONE et al. 2002 Übers. d. Verf.] werden drei Massenbewegungsbestandskarten von einem ca. 300 km² großen Gebiet in dem italienischen Gebirgszug Apennin verglichen. Erstellt worden sind die Karten von drei verschiedenen Gruppen von Geomorphologen. Insgesamt stimmten 80 % der kartierten Massenbewegungsflächen nicht in allen drei Karten überein. Auch die Fehlerrate, die explizit den Schaden an Menschen und Sachgütern aufweist, wurde erörtert. Dazu wurden die drei kartierten Massenbewegungsflächen innerhalb von 100 m Abstand zu Straßen und Dörfern verglichen. Die Diskrepanz betrug zwischen 58,9 % und 67,8 %. [ARDIZZONE et al. 2002].

Es wird deutlich, wie wichtig korrekte und vollständige Daten für Analysen sind. Dem steht jedoch insbesondere bei der Analyse von Massenbewegungen gegenüber, dass man sich der Korrektheit und Vollständigkeit der Daten nie sicher sein kann. Es gibt keine Garantie dafür, dass alle im Untersuchungsgebiet stattgefundenen Massenbewegungen verzeichnet sind [FELL et al. 2008]. Massenbewegungen werden außerdem häufiger dort wahrgenommen, wo sie auch von Bedeutung sind und seltener dort, wo sie niemanden bedrohen, z.B. in unbesiedelten Gebieten [ALEXANDER 2008]. Ferner sind Massenbewegungen sowie deren Ausmaß und Art z.B. durch den nachträglich stattgefundenen Vegetationsaufwuchs schwieriger zu identifizieren, je länger die Massenbewegungen zurückliegen [VAN WESTEN, CASTELLANOS & KURI-AKOSE 2008; ARDIZZONE et al. 2002].

Eine gewissenhafte Erfassung von Daten ist also wichtig, trotzdem ist es notwendig, sich über die vermeintlichen Fehler im Datensatz bewusst zu sein (vgl. Punkt 8.1).

Der Abbildung 13 ist zu entnehmen, wie in dieser Arbeit die Datenerfassung bzw. die Datenbeschaffung sowie deren Qualitätsüberprüfung vollzogen werden.

DATENBESCHAFFUNG & DATENQUALITÄTSPRÜFUNG

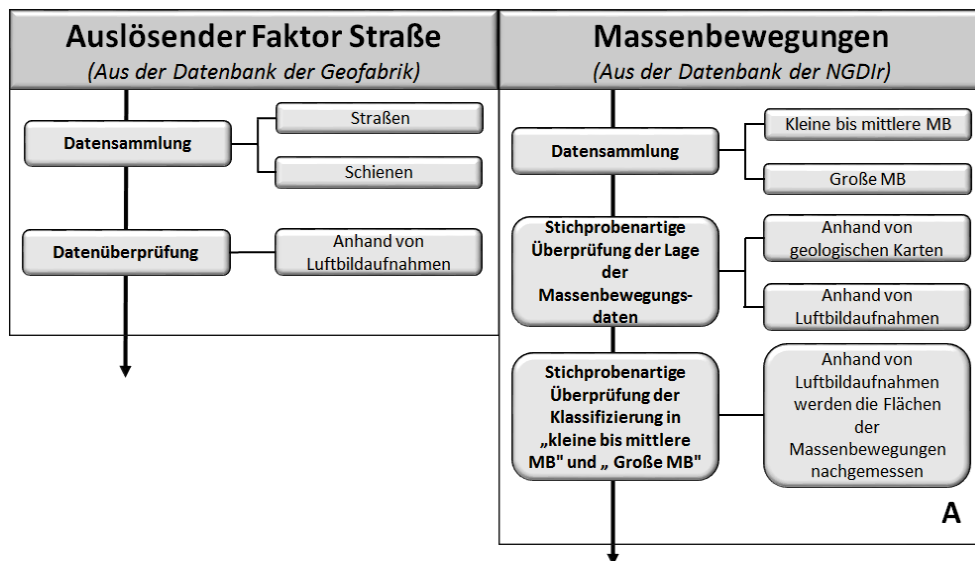


Abbildung 13 Ablaufdiagramm Datenbeschaffung & Datenqualitätsprüfung

Zur Bearbeitung der Problemstellung mit ArcGIS werden folgende Daten des Untersuchungsgebiets benötigt:

- Straßennetz
- Stattgefundene/Erwartete Massenbewegungen

Zu deren Überprüfung werden folgende weitere Daten des Untersuchungsgebietes gebraucht:

- Luftbildaufnahmen
- Geologische Karten

Ein aktuelles Straßennetz des Untersuchungsgebiets wird in einer Vielzahl von Quellen zur Verfügung gestellt.

ArcGIS bietet über verschiedene sogenannte „Grundkarten“ (engl. „Basemaps“) Straßennetze an, welche direkt in das geöffnete ArcGIS Projekt geladen werden können, vorausgesetzt, eine Internetverbindung ist vorhanden. Die angebotenen Grundkarten aus ArcGIS weisen allerdings nur wenige Hauptverkehrsstraßen auf. Diese geringe Anzahl ist nicht ausreichend zur Bewältigung der hier vorliegenden Problemstellung. Daher wird bei der Bearbeitung dieser Bachelorarbeit auf eine Straßennetzgrundkarte von ArcGIS verzichtet.

Die Seite <http://www.openstreetmap.de/> ist ein online Kartendienst wie beispielweise Google Maps. Sie unterscheidet sich von anderen Kartendiensten dadurch, dass die zugänglichen Daten nicht aus existierenden Karten übernommen, sondern von den OpenStreetMap Mitgliedern eigens erhoben werden. Somit liegen alle Rechte bei OpenStreetMap. [FOSSGIS E.V.] Die Datengewinnung ist sehr aufwendig und teils noch unvollständig, allerdings wesentlich umfangreicher als die Daten der ArcGIS Grundkarten. OpenStreetMap stellt die Straßendaten selbst und über Zweitanbieter kostenlos im Internet zur Verfügung. Die direkten Downloads der OpenStreetMap Webseite sind maximal über 1000 km² möglich und somit für diese Arbeit nicht geeignet. Des Weiteren bietet OpenStreetMap die Rohstraßendaten der gesamten Welt unter planet.openstreetmap.org an. Dessen Größe beträgt im komprimierten Zustand ca. 50 GB und extrahiert mehrere hunderte GB. Der zur Bearbeitung genutzte Computer bzw. das darauf installierte ArcGIS ist mit einem Datenumfang dieser Größe überfordert. Außerdem ist zu bedenken, dass planet.openstreetmap.org die Daten in dem Format osm bereitstellt. Diese müssten zur Bearbeitung mit ArcGIS also noch in shp Dateien umgewandelt werden.

Da sie kostenlos und offen zugänglich sind, werden für diese Arbeit OpenStreetMap Daten der Geofabrik und von osm-x-tractor genutzt.

Ein Vergleichsstraßensatz wird über das Projekt „Double Interferometer for Visual Astrometry“ (DIVA) erhalten. Im Rahmen der DIVA wurde ein frei erhältliches GIS Programm mit dem Namen DIVA-GIS entwickelt. Die Hersteller von DIVA bieten ebenfalls kostenlos weltweite Geodaten auf ihrer Webseite (<http://www.diva-gis.org/Data>) an. [HIJMANS, ROJAS & O'BRIEN]

Somit werden zunächst einmal drei Straßendatensätze auf ihre Nutzungsfähigkeit getestet.

Luftbildaufnahmen können dem Projekt durch verschiedene Weisen hinzugefügt werden. Zum einen können Luftbilder als Bilddateien oder Tiff-Dateien eingefügt und georeferenziert werden. Da auf den Luftbildern allerdings Straßen erkennbar und genau nachzeichnenbar sein sollen, also der Maßstab zwischen ca. 1:500 und maximal ca. 1:8000 liegen muss, ist es außerordentlich aufwendig, über dieses Verfahren das gesamte sich über ca. 53.000 km² ausdehnende Untersuchungsgebiet mit Luftbildern zu hinterlegen.

Eine deutlich weniger aufwendige und qualitativ hochwertigere Alternative ist die Grundkarte „Bing Maps Aerial“. Sie stattet das in ArcGIS geöffnete Projekt mit Satelliten- und Luftbildern aus dem Jahre 2013 aus. Lädt man die Grundkarte in ArcGIS hinein, werden die Satelliten- bzw. Luftbilder automatisch an den zugehörigen Koordinaten visualisiert. Außerdem wandelt die Grundkarte automatisch die Satellitenbilder in entsprechende Luftbilder um, wenn manuell in ein bestimmtes Gebiet herein- oder aus diesem wieder herausgezoomt wird. So wie auch beispielweise bei Google Earth wird bei der Weltansicht ein Satellitenbild visualisiert, wohingegen beim Heranzoomen an ein bestimmtes Gebäude eine Luftbildaufnahme zu sehen ist. Diese wird aus nur einigen hundert Metern aufgenommen und stellt somit eine höhere Auflösung zur Verfügung. Durch diese Auflösung sind die meisten Straßen auf der „Bing Maps Aerial“ Grundkarte bei großen Maßstäben klar erkennbar (siehe z.B. Abb. 19 Messung der Straßen Planumsbreiten). Zwei Fehlerquellen sind erkennbar, allerdings für diese Arbeit als marginal zu betrachten. Erstens sind vereinzelt Reliefverläufe nicht von Straßen unterscheidbar. Weiter sind gelegentlich Straßenverläufe durch Wolken bedeckt. Nachdem die Straßen- bzw. Schienen-Layer in das bis dahin leere Projekt geladen sind, kann durch das Hereinladen der „Bing Maps Aerial“ visuell überprüft werden, welcher Straßen-Layer die Straßen am genauesten darstellt. Die Straßensätze von OpenStreetMap sind wesentlich präziser als der Straßensatz von DIVA. Sie liegen zum Großteil genau auf den Straßen, wohingegen die DIVA projizierten Straßen häufig viele Meter von den auf den Luftbildern zu sehenden Straßen entfernt liegen. Der Diva Straßensatz scheidet somit aus. Der Straßensatz der Geofabrik und der von osm-x-tractor sind visuell dieselben, haben allerdings unterschiedlich viele Attribute. Die Autorin entscheidet sich für den Straßensatz der Geofabrik, da die zusätzlichen Attribute des osm-x-tractor Straßensatzes für diese Arbeit nicht weiter förderlich sind.

Anlässlich des engen zeitlichen Rahmens wird beschlossen, auf eine existierende Datenbank über Massenbewegungen zurückzugreifen und keine eigene Datenbank zu erheben. Außerdem gehört die Erhebung einer Datenbank eher der geomorphologischen Disziplin als der des Ingenieurs an [GUZZETTI 2005]. Die Beschaffung einer Datenbank über stattgefundene und erwartete Massenbewegungen stellte sich als Herausforderung heraus. Über die öffentlich zugängliche Literatur, auf welche unter

dem Punkt 6.1 eingegangen wird, konnte keine ausführliche Datenbank erhalten werden.

Deshalb werden mehrere Organisationen kontaktiert, die mutmaßlich eine solche Datenbank unterhalten.

Die „Landslide stabilization group“ von der „Forests, Range and Watershed Management Organization“ hat bestätigt, eine „Landslide Datenbank“ zu besitzen. Die staatliche Organisation ist 2002 gegründet worden. Sie soll Umweltsysteme schützen, rekultivieren und nachhaltig entwickeln [FORESTS, RANGE AND WATERSHED MANAGEMENT ORGANIZATION]. Bedauerlicherweise stand diese Datenbank der Autorin während der Bearbeitungszeit nicht zur Verfügung. Bei der Bearbeitung einer ähnlichen Problemstellung kann jedoch erneut versucht werden, über die „Landslide stabilization group“ an Daten zu gelangen.

Eine weitere Organisation ist die National Geoscience Database of Iran (NGDIr). Sie ist mit dem „Third Development Programm“ der iranischen Regierung 2001 gegründet worden. Die NGDIr sammelt Geodaten staatlicher Organe und Organisationen sowie auch privater Organisationen, Reports, Papers etc.

Die Datenbank über Massenbewegungen, welche in dieser Bachelorarbeit genutzt wird, ist von der NGDIr bereitgestellt worden. Unterteilt sind die Massenbewegungen in „minor-medium-landslides“ und in solche, die größer als 100 Acre (0,404686 km²) sind. An dieser Stelle werden die Klassen umbenannt in „kleine bis mittlere“ Massenbewegungen und „große“ Massenbewegungen. In der Zukunft erwartete Massenbewegungen sind nicht vorhanden.

Mit Hilfe der „Bing Maps Aerial“ Grundkarte und dem Messwerkzeug von ArcGIS wird die Klassifizierung stichprobenartig nachgeprüft und bestätigt. Die Qualität der Lage der Massenbewegungen kann ebenfalls anhand der Luftbilder von Bing und zusätzlich anhand von geologischen Karten stichprobenartig bestätigt werden. Folgende Screenshots sollen zunächst die Überprüfung der Klassifizierung und deren Ergebnisse mittels der „Bing Maps Aerial“ Grundkarte näherbringen (Abb. 14). Danach zeigen Abbildungen 15 und 16 ebenso die Ergebnisse der Überprüfung anhand von geologischen Karten.



Abbildung 14: Überprüfung MB Klassifizierung anhand der "Bing Maps Aerial"

Der Grüne Punkt weist die von NGDIr verzeichnete „große Massenbewegung“ auf. Die weiße Linie um die Massenbewegung herum markiert die durch das Luftbild identifizierte Fläche der MB. In der weißen „Ergebnisbox des Messwerkzeuges“ lässt sich ablesen, dass die Fläche ca. 0,44 km² beträgt. Sie stimmt also mit ihrer Klasse überein. Auch der verzeichnete Punkt der Massenbewegung liegt innerhalb der identifizierten Fläche, allerdings nicht im Mittelpunkt.



Abbildung 15: Überprüfung der MB Lage anhand einer geologischen Karte I
[BAHREHMAND 2010]

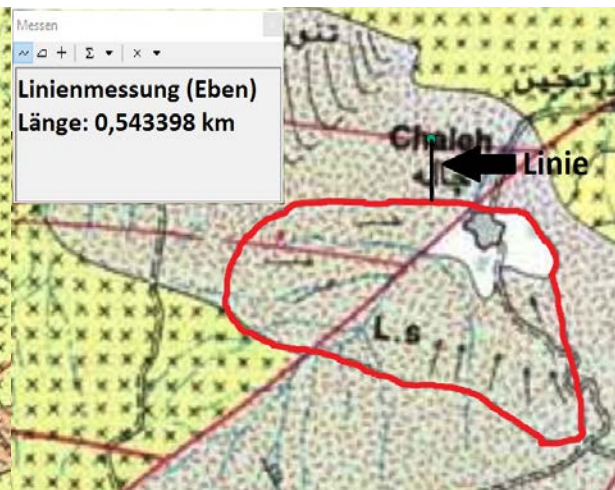


Abbildung 16: Überprüfung der MB Lage anhand einer geologischen Karte II
[BAHREHMAND 2010]

Abbildung 15 zeigt in Rot nachgezeichnet die Fläche einer in der geologischen Karte festgehaltenen Massenbewegung. Der grüne Punkt steht erneut für eine Große Massenbewegung des verwendeten Datensatzes. Wieder liegt der Punkt nicht im Mittelpunkt der Fläche. In der folgenden Abbildung 16 liegt der Punkt sogar über 500 m außerhalb der kartierten Massenbewegung (bei Chaleh). Das kommt mehrmals vor. Darüber hinaus treten Massenbewegungen auf, die in den geologischen Karten kartiert, aber nicht in der Datenbank verzeichnet sind und anders herum.

Die geologischen Karten sind vom „Geological survey of Iran“ (GSI). Diese staatliche Organisation bietet solche Karten für den gesamten Iran im Internet kostenlos an. Die Karten sind 2010 das letzte Mal aktualisiert worden. [GEOLOGICAL SURVEY OF

IRAN] Der NGDIr ist Mitherausgeber dieser Karten und somit ist es wahrscheinlich, dass die Massenbewegungen trotz mancher Abweichung aus der identischen Quelle entstanden sind. Der Zeitraum der Massenbewegungen des Inventars, welches von der NGDIr bezogen werden konnte, ist nicht bekannt.

6.2.2 Datenkartierung

In ArcGIS soll ein Projekt entwickelt werden, welches eine konstruktive Analyse von straßen- und schienengebundener Verkehrsinfrastruktur im Elbursgebirge als Auslöser von Massenbewegungen ermöglicht. Dafür müssen die erhaltenen und geprüften Daten als nächstes visuell in einer Bestandskarte festgehalten werden [GENSKE 2014; SASSA & CANUTI 2009]. Denn „Bestandskarten von Massenbewegungen dokumentieren das Ausmaß der Massenbewegungen in einer Region und weisen Informationen auf, welche [abschließend] dafür genutzt werden [...] die Anfälligkeit, Gefahr, Vulnerabilität und das Risiko gegenüber Massenbewegungen zu eruieren“ [GALLI et al. 2008 Übers. d. Verf.].

Im Folgenden (Abb. 17) wird abgebildet und erläutert, welche Arbeitsschritte zur Entwicklung der Layer „Massenbewegungen“ und „Verkehrsinfrastruktur“ erfolgen.

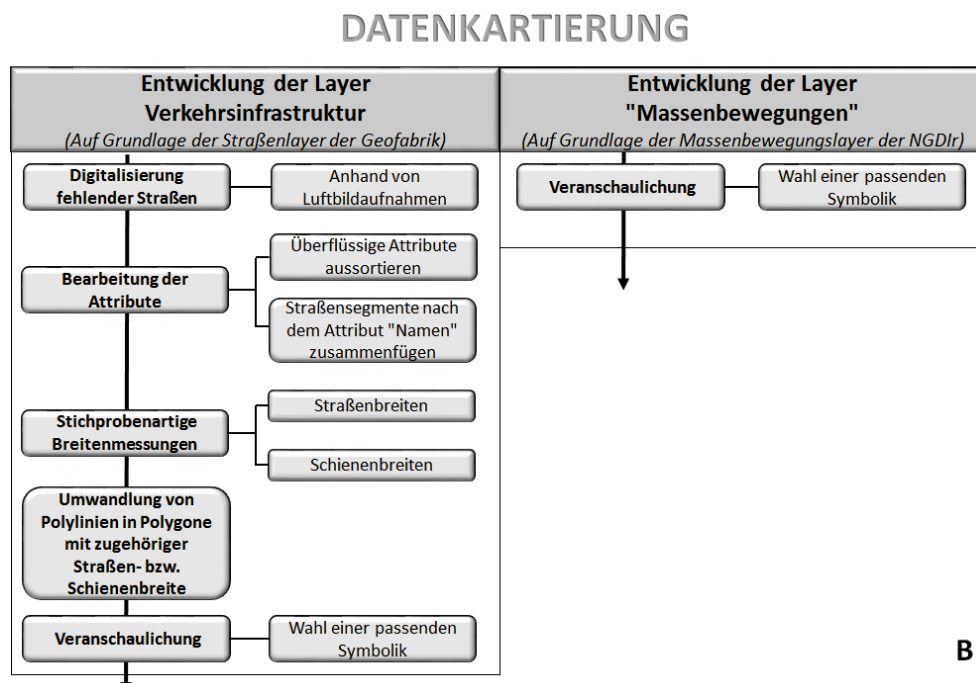


Abbildung 17: Ablaufdiagramm Datenkartierung

Alle zur Verfügung stehenden Daten liegen in dem international anerkannten und gängigen Koordinatensystem WGS 1984 vor. Dieses Koordinatensystem ist allerdings nicht plan, sondern wie die Erde auch (relativ) gekrümmt. Um Flächen berechnen zu

können, muss eine ebene Projektion ausgewählt werden. Deswegen wird die Projektion umgewandelt in die (WGS 1984) UTM Zone 39N Projektion.

Fehlende Straßen werden über die Luftbildaufnahmen erkannt und mit Hilfe des Editierwerkzeuges von ArcGIS nachträglich hinzugefügt. Das ist sehr zeitaufwendig. Daher ist es nicht möglich, im gesamten Untersuchungsgebiet Straßen nachzueditieren. Es wird entschieden, lediglich die Straßen im Testgebiet hinzuzufügen, um damit in einer **weiteren Studie** den zeitlichen Vergleich mit 2004 zu ermöglichen.

Auf Grundlage der bis hierher erläuterten Ausgangslage ist entschieden worden, die Analyse mit folgenden Daten durchzuführen:

- Geofabrik Straßen-Layer
- Selbst digitalisierter Straßen-Layer (Testgebiet)
- Geofabrik Schienen-Layer
- NDGIr Massenbewegungen-Layer

Alle Daten werden in das Projekt hereingeladen. Der Großteil der Layer erstreckt sich über die Fläche des gesamten Irans oder ragt darüber hinaus. Um diese Layer auf die Fläche des Untersuchungsgebiets zu begrenzen, wird ein Layer „Untersuchungsgebiet“ mit den Provinzgrenzen Alborz, Qazvin und Teheran hinzugefügt. Dieser Layer wird erstellt, indem die drei Provinzen aus der Grundkarte „OpenStreetMap“ von ESRI herauseditiert werden. Alle anderen Layer werden um den Layer der drei Provinzen herum ausgeschnitten. Nun wird in der Gesamtansicht des Projektes das Untersuchungsgebiet angezeigt und kein Layer ragt über dieses hinaus.

Das ist nicht nur aus optischen Gründen notwendig. Auch die Bearbeitung des Projektes beansprucht durch die kleinere Datenmenge weniger Zeit.

In der Attributtabelle sind Straßensegmente einer Straße in Form von mehreren Einträgen hinterlegt. Um die Bearbeitungszeit zu verkürzen, werden die Straßensegmente einer Straße mit dem Werkzeug „Zusammenführen (Dissolve)“ nach ihren Namen zusammengefügt. So enthält die Attributtabelle weniger Einträge. Die erhoffte Zeitersparnis bei der Weiterarbeit hat sich allerdings nicht eingestellt.

Das Straßennetz ist bisher in sogenannten Polylinien festgehalten. Diese sind wie der Name sagt Linien. Ihnen sind nur eine Länge und keine Breite zugeordnet. Für die

folgende Analyse sollen die Straßen eine Breite besitzen. Denn Momente, die Massenbewegungen auslösen, wie z.B. Erschütterungen, Belastungsänderungen und Geometrieänderungen, wirken auf Flächen und nicht auf Linien. Eine Breite für Straßen und eine eigene Breite für Schienen muss festgelegt werden. Verzeichnete Schienen im Untersuchungsgebiet sind selten. Somit können die Breiten aller Schienen mit dem Messwerkzeug auf der „BingMapAreal“ ungefähr nachgemessen werden. Fast alle Schienen sind einspurig (eine Spur, keine dazugehörige Gegenspurspur). Zweispurige Schienen werden außerdem häufig als zwei eigene Polylinien festgehalten. Somit wird jede Polyline-Schiene als einspurig angenommen. Die durchschnittliche Breite der einspurigen Schienen beträgt ca. 6,88 m. Da die Messungen auf Grund der Auflösung der Luftbilder nicht exakt sein können, wird ein zweiter Richtwert eingeholt. Eingleisige Fernbahnen werden in Deutschland mit einer Planumsbreite von 6,60 m konstruiert (siehe Tabelle rote Markierung). Da kein vergleichbarer Wert aus dem Iran ersichtlich ist, wird entschieden, die 6,60 m als Breite für Schienen festzulegen. Durch die visuelle Überprüfung und mit dem Wissen, dass dem Iran viele deutsche Züge verkauft werden, also die Schienennetze kompatibel sind, wird dieser Richtwert als relativ genau betrachtet [ROTHSCHILD 2010].

Tabelle 6: Deutsche Planumsbreiten von Schienen

Über- höhung u	eingleisige Strecken			zweigleisige Strecken			
	Fernbahnen		S-Bahnen	Fernbahnen			S-Bahnen
	$v_e \leq 200$	$v_e > 200$	$v_e \leq 120$	$v_e \leq 160$	$160 < v_e \leq 200$	$v_e > 200$	$v_e \leq 120$
0 und 20	6,60 m	7,60 m	6,10 m	10,60 m	11,60 m	12,10 m	10,20 m
25 bis 50	6,60 m	7,60 m	6,20 m	10,70 m	11,70 m	12,20 m	10,30 m
55 bis 100	6,60 m	7,60 m	6,30 m	10,80 m	11,80 m	12,30 m	10,40 m
105 bis 160	6,60 m	7,60 m	6,40 m	10,90 m	11,90 m	12,40 m	10,50 m

u in mm, v_e in km/h

[SCHNEIDER, GORIS & ALBERT 2008]

Die Planumsbreite ist die Breite, die für den Erbau der Schiene (oder Straße) planbereitet wird. Somit die Breite, um die das natürliche Relief verändert wird, eben die Breite, welche für das Auslösen von Massenbewegungen in Frage kommen könnte.

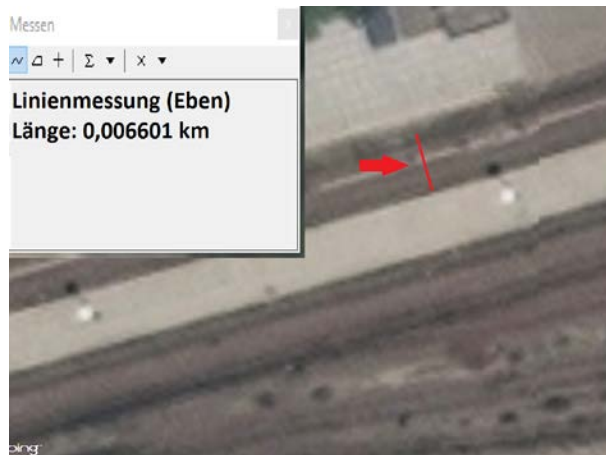
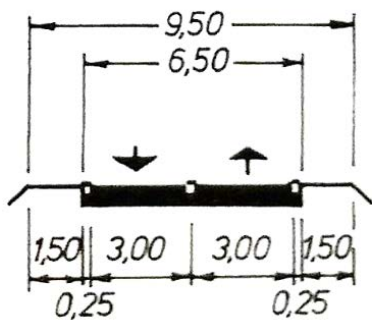


Abbildung 18: Messung der Schienen-Planumsbreite



Abbildung 19: Messung der Straßen Planumsbreite

Die Definition der Straßenbreite ist weniger genau, da diese (vor allem durch verschiedene Spurenanzahlen) in der Realität häufiger variiert. Dem Straßendatensatz ist keine Spurenanzahl als Attribut zugeordnet. Daraus folgt, dass eine einheitliche Breite für alle Straßen ohne Beachtung ihrer Spurenanzahl festgelegt werden muss. Wie auch bei den Schienenbreiten wird versucht, die Straßenbreiten anhand der Luftbilder nachzumessen. Dazu müssen sowohl der Straßen-Layer, die „BingMapAerial“ als auch das Messwerkzeug angeschaltet sein. Resultierend benötigt die Bearbeitung viel Zeit. In diesem Fall ca. 5-10 Minuten pro Messung einer Straße. Aus diesem Grund wurden lediglich 16 Straßen aus den 4 Teilgebieten stichprobeartig gemessen. Ihre durchschnittliche sichtbare Breite betrug ca. 9,65 m. Außerdem ist aufgefallen, dass die Straßen im Gebirge (auch über die 16 gemessenen Straßen hinaus) meist einspurig sind. Einspurig bedeutet im Falle der Straße, dass diese der Breite von zwei Autos entspricht, je ein Auto pro Richtung zuzüglich des notwendigen Sicherheitsabstandes, der Seitenstreifen und weiteren 1,50 m pro Seite, die ebenfalls plan bearbeitet werden. Dies entspricht nach den Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Querschnitt (RAS-Q 1996) einer Planumsbreite von 9,50 m [SCHNEIDER, GORIS & ALBERT 2008 nach FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN UND VERKEHRSWESEN 1996]. Auf Abbildung 20 ist diese graphisch aufgezeichnet.



RQ 9,5

Die RAS-Q 1996 galt lange Jahre für deutsche Straßen. Sie wird als Grundlage für die Straßenbreite dieser Arbeit genutzt. Für die einheitliche Breite der Straßen des Untersuchungsgebietes werden 9,50 m bestimmt.

Abbildung 20: Gliederung der Planumsbreite einer Straße nach RQ 9,5

[SCHNEIDER, GORIS & ALBERT 2008 nach FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN UND VERKEHRSWESSEN 1996]

Um die Polylinien der Schienen werden Puffer mit jeweils 3,30 m zu jeder Seite gelegt, um die der Straßen Puffer mit 4,75 m. Dadurch werden Polygone, also Flächen in einem bzw. zwei neuen Layern (Schienenpuffer und Straßenpuffer) erzeugt. In den neuen Layern haben die Straßen bzw. Schienen ihre festgelegten Breiten. Der Realität entsprechend sind die Puffer am Anfang und Ende der Straßen und Schienen flach erzeugt. Unter dem Begriff „Straßennetz“ werden von diesem Schritt an immer die hier beschriebenen Layer verstanden. Also diejenigen Layer, in denen die Straßen und Schienen als Flächen festgehalten sind.

Bevor die Analyse beginnt, besteht das Projekt insgesamt aus folgenden Layern und dazugehörigen Formen:

Tabelle 7: Übersicht verwendeter Layer

Layer	Form
Straßen Geofabrik	Polygone
Schienen Geofabrik	Polygone
Straßen selbstdigitalisiert	Polygone
Kleine bis mittlere Massenbewegungen	Punkte
Große Massenbewegungen	Punkte
Grundkarte „BingMapAreal“	Satelliten- und Luftbilder
Untersuchungsgebiet	Polygon
Teilgebiet Testgebiet Diplomarbeit	Polygon
Teilgebiet Hotspot kleine bis mittlere MB	Polygon
Teilgebiet Hotspot große MB	Polygon
Geologische Karten (GSI)	Bild (tiff)

Durch die entsprechend eingestellte Symbolik lassen sich die verschiedenen Layer visuell voneinander unterscheiden. Die Symbolik wird vor allem genutzt, um farbliche

Unterschiede zu erzeugen, verschiedene Strichstärken zu nutzen und um durch Transparenz übereinander liegende Formen sehen zu können.

6.2.3 Datenanalyse

Anknüpfend werden mit Punkt 6.2.3.1 und 6.2.3.2 zwei verschiedene Analysemethoden verwendet, um zu überprüfen, wie groß der Auslöseeinfluss straßen- und schienegebundener Verkehrsinfrastruktur auf Massenbewegungen ist. In der ersten Analyse wird der Einfluss anhand der auftretenden Häufigkeit der Massenbewegungen untersucht, in der zweiten Analyse anhand der Abstände von Massenbewegungen zu Straßen.

6.2.3.1 Straßenflächenanteil eines Gebiets im Vergleich zu den darin stattgefundenen Massenbewegungen

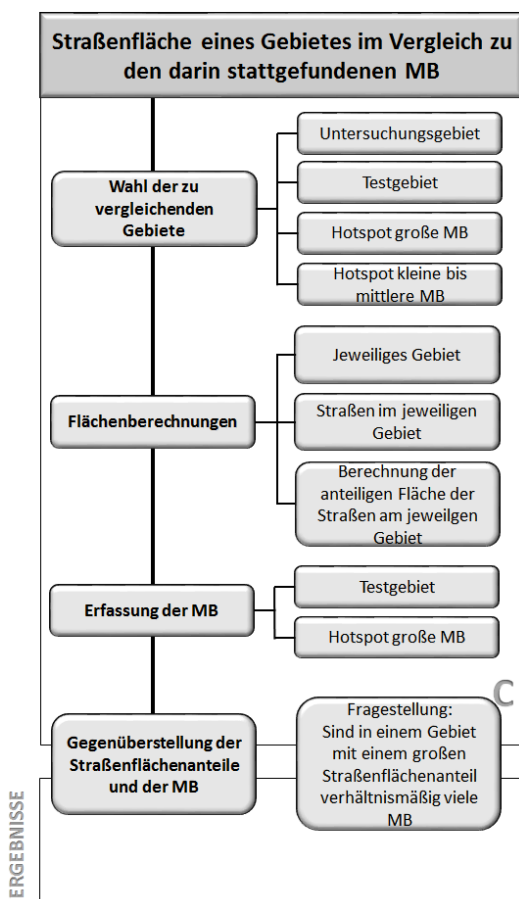


Abbildung 21: Ablaufdiagramm Straßenfläche eines Gebietes im Vergleich zu den darin stattgefundenen MB

Die erste Analysemethode vergleicht den Straßenflächenanteil des Untersuchungsgebietes und der in Punkt 5 definierten „Teilgebiete“. Dieser Anteil wird dem Aufkommen von Massenbewegungen pro Gebietsfläche gegenübergestellt. Folglich ist eine Verhältnismäßigkeit von Straßenflächenanteil an einem Gebiet und den stattgefundenen Massenbewegungen in diesem Gebiet messbar. Der Flächenanteil der Straßen an der Fläche des jeweiligen Gebiets wird berechnet. Außerdem werden die kartierten Massenbewegungen in allen Vergleichsgebieten summiert. Infolgedessen wird verglichen, ob ein Gebiet mit hohem Straßenflächenanteil anteilig, gemessen an seiner Fläche, mehr Massenbewegungen erleidet als ein Gebiet mit weniger Straßenflächenanteil. Abbildung 21 veranschaulicht das Vorgehen.

Folgende Arbeitsschritte werden in ArcGIS verrichtet:

Das Straßennetz der Geofabrik wie auch das selbst digitalisierte Straßennetz wird um jedes der drei Teilgebiete herum ausgeschnitten. Dazu wird das Werkzeug „Überschneiden“ verwendet. Somit wird für jedes Teilgebiet ein eigener Layer „Straßennetz Geofabrik“ und „Straßennetz selbst digitalisiert“ erzeugt. Da keine schienengebundene Infrastruktur in den drei Teilgebieten liegt, wird diese aus der Analyse ausgeschlossen. Über die sogenannte „Geometrie Berechnung“ konnte jeweils (auch für das gesamte Untersuchungsgebiet) die Fläche berechnet werden, die die Straßen in dem jeweiligen Gebiet einnehmen.

Gezählt werden die Massenbewegungen pro Teilgebiet, indem eine „Verbindung“ des Teilgebiet-Layers zu dem jeweiligen Massenbewegungs-Layer erstellt wird. Dabei lässt sich auswählen, dass die Punkte (in diesem Fall die Massenbewegungen) aufsummiert im resultierenden neuen „Verbindungs“-Layer als Attribut festgehalten werden.

Infolgedessen können die Straßenflächen der Gebiete den Massenbewegungen in Punkt 7.1 Ergebnisse gegenübergestellt werden.

6.2.3.2 Straßenpufferanalyse

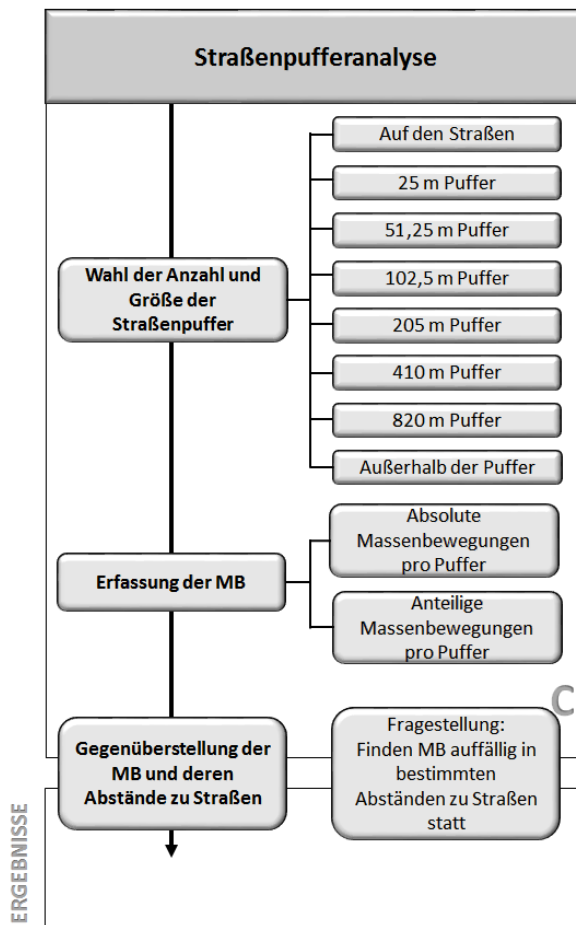


Abbildung 22: Ablaufdiagramm Straßenpufferanalyse

Die zweite Analyse ist eine Straßenpufferanalyse, wie sie in Punkt 4.2 schon theoretisch beschrieben ist. Abbildung 22 visualisiert das methodische Vorgehen dieser Analyse. In Form von Puffern werden die Abstände der Massenbewegungen zu den Straßen gemessen. Danach werden die Massenbewegungen, die innerhalb der Puffer stattgefunden haben, gezählt. So lässt sich darstellen, welcher Anteil der Massenbewegungen auf einer Straße oder innerhalb unterschiedlicher Abstände zu Straßen liegt. In der Diskussion lassen sich die Abstände bewerten. Diese Bewertung kann in Form einer Anfälligkeitskarte visualisiert werden.

Praktisch wird die Straßenpufferanalyse anhand folgender ausschlaggebender Schritte in ArcGIS durchgeführt:

Zunächst wird entschieden, über welchen Abstand sich die Puffer insgesamt ausdehnen, in welchen Abständen Puffer verwendet werden und wie viele Puffer verwendet werden, also in wie viele Klassen die Distanz zu den Straßen eingeteilt wird. Wie in Punkt 4.2 beschrieben unterscheiden sich alle drei genannten Festlegungen in der Literatur enorm. Allein die gesamte betrachtete Ausdehnung, also der Abstand des größten Puffers, variiert von >150 m bis zu ca. 1500 m um sein zehnfaches. Deswegen wird die Literatur für die Einteilung der jeweiligen Abstände nicht als Grundlage verwendet.

Es wird als sinnvoll erachtet, den Abstand des größten Puffers kleiner zu wählen, als ein jeder zufällig lokalisierter Punkt im Durchschnitt von einer Straße entfernt liegt.

Ein Beispiel: Nehmen wir an, im Durchschnitt ist der Abstand eines zufällig gewählten Punktes von der nächsten Straße 100 m. So sollte der größte Puffer einen Abstand von 100 m haben. Denn bei jedem Punkt, in unserem Falle jeder Massenbewegung, die weiter als 100 m entfernt liegt, kann dadurch rein statistisch gesehen nicht mehr ein Einfluss der Straße nachgewiesen werden. Schon rein statistisch gesehen liegt im genannten Fall jede Massenbewegung/ jeder Punkt höchstens 100 m von einer Straße entfernt. Das heißt nicht, dass Straßen nicht auch über diesen Abstand hinaus Massenbewegungen beeinflussen können, aber ihr Einfluss ist nicht allein durch ihren Abstand nachzuweisen oder zu vermuten.

Infolgedessen wird ein solcher Durchschnittsabstand zu Straßen ermittelt. Dazu wird das Werkzeug „euklidische Entfernung“ benutzt. Dieses ermöglicht es, ein definiertes Gebiet in Zellen mit eigens festgelegten Maßen umzuwandeln. „Für jede Zelle wird die Entfernung zu jeder Quellenzelle [in diesem Fall zu jeder Straßenzelle] bestimmt. [...] Die kürzeste Entfernung zu einer Quelle wird bestimmt, und [...] der Zellenposition im Ausgabe-Raster [...] zugewiesen.“ [ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. 2015] Visuell werden die verschiedenen Distanzen dargestellt, indem die Distanzen einer Klasse jeweils gleich eingefärbt werden (siehe Abb. 23). Anhand der Klassifizierungsstatistik lässt sich der Mittelwert der euklidischen Distanz und somit der gesuchte Durchschnittsabstand zu Straßen ermitteln.

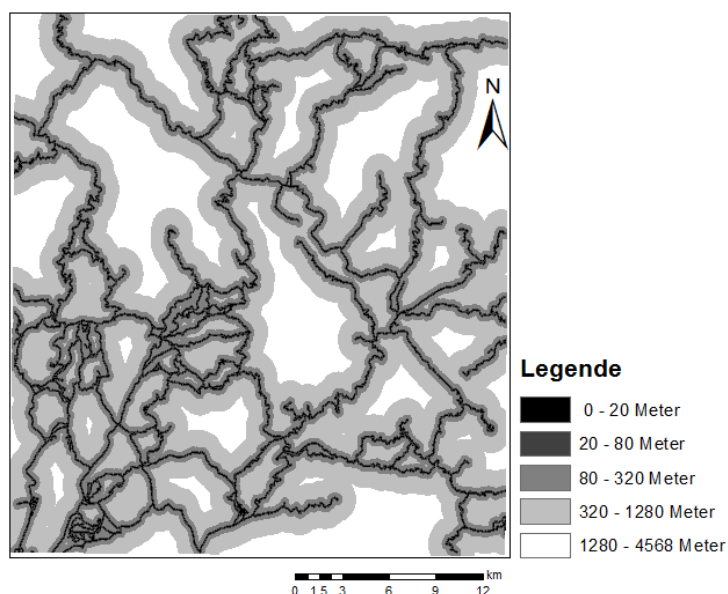


Abbildung 23: Euklidische Distanz Alternativgebiet

D. Hadmoko lässt durch seine Massenbewegungsstudie in Indonesien vermuten, dass sich der Einfluss von Straßen für Massenbewegungen schon in sehr kleinen Distanzen

(25 m) enorm unterscheidet (siehe Punkt 4.2). Um diese möglichen Unterscheidungen erkennen zu können, ist es nötig, die Zellengröße für die euklidische Distanz entsprechend klein zu wählen (zwischen 10 m*10 m und 20 m*20 m). Das ist für das gesamte Untersuchungsgebiet nicht möglich, der verwendete PC ist mit der dafür benötigten Leistung und dem Ausgabedatenvolumen von weit über 100 GB überfordert.

Deshalb wird die Entfernung ersatzweise im „Alternativgebiet“ durchgeführt. Die Zellengröße beträgt ca. 10 m*10 m. Der daraus abgeleitete durchschnittliche Abstand zu Straßen beträgt ca. 820 m. Dieser Wert wird repräsentativ für das gesamte Untersuchungsgebiet benutzt.

Da die Literatur vermuten lässt, dass in einem Abstand von 820 m kein Einfluss der Straßen vorherrscht, wird der größte Puffer mit diesem Abstand in beide Richtungen der Straße erzeugt. Der kleinste Puffer soll auf Grund der in 4.2 erläuterten Literatur 25 m betragen. Solange die stattgefundenen Massenbewegungen in dem 25 m Puffer nicht außergewöhnlich viele sind, kann dieser der kleinste Puffer bleiben. Experimentell wird auch die Anzahl der dazwischen liegenden Puffer und deren Abstände zu Straßen erfasst. Dabei wird darauf geachtet, dass die verschiedenen Abstände vergleichbar sind, also Vielfache voneinander sind. Insgesamt werden 6 Puffer entworfen mit den Abständen 25 m; 51,25 m; 102,5 m; 205 m; 410 m; 820 m (siehe Abb. 24). Darüber hinaus werden die Straßenflächen selber auf MB untersucht. Dies ist möglich, weil die Straßen als Flächen und nicht als Linien verwendet werden. Die MB außerhalb aller Puffer werden ebenfalls gezählt. Somit sind acht Klassen definiert.

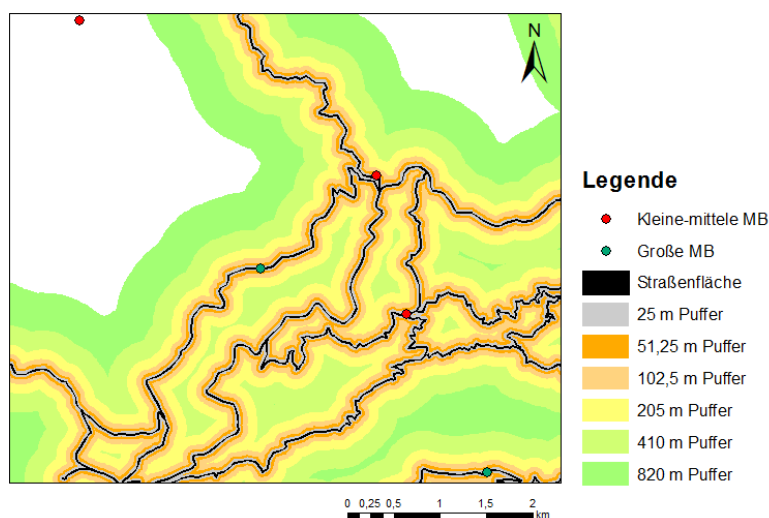


Abbildung 24: Puffer der Straßenpufferanalyse

Zusätzlich wird ein 600 m Puffer entworfen. 600 m entsprechen dem Median der für die euklidische Distanz berechneten Zellenabstände zu Straßen. Das heißt, es gibt genauso viele Zellen, die weiter weg als 600 m von Straßen liegen, wie Zellen, die näher daran liegen. In der Statistik ist dieser Wert als so genanntes 50 %-Quantil bekannt. Die Massenbewegungen müssten also, falls sie keinen Einfluss durch Straßen erhalten und alle anderen Einflüsse außer Acht gelassen werden, gleich verteilt sein. Somit wird der 600 m Puffer entworfen, um eine Bewertungsgrundlage zu erhalten. Falls mehr als 50 % der Massenbewegungen innerhalb der 600 m liegen sind diese MB nicht unabhängig verteilt. Es kann dann gefolgert werden, dass die Straßen Massenbewegungen beeinflussen bzw. auslösen. Notiert werden zum Vergleich der Ergebnisse zusätzlich die Quantile für ca. 800m (60 %) ca. 400 m (40 %) ca. 200 m (25 %) ca. 100 m (12,5 %) für ca. 50 m (6,67 %) und für ca. 25 m (2,51 %). Das heißt beispielsweise, dass 25 % aller Zellen innerhalb von 200 m zu Straßen liegen. Ausgedrückt wird diese Verteilung durch das 25 %-Quantil. Auch hier müssten die Massenbewegungen bei einer unabhängigen Verteilung gleich verteilt liegen.

Die stattgefundenen Massenbewegungen in den jeweiligen Klassen werden, wie in Punkt 7.2.3.1 über eine „Verbindung“ gezählt. Es ist allerdings (über die Einstellungen des Bearbeitungswerkzeuges) darauf zu achten, dass beim Entwerfen der Puffer nicht um jedes Straßensegment ein eigener Puffer entwickelt wird, sondern um die gesamtverbundenen Straßensegmente ein großer Puffer angelegt wird. Andernfalls überlappen beispielsweise an einer Kreuzung vier Puffer, falls jede zur Kreuzung führende Linie als einzelnes Straßensegment verzeichnet ist. In diesem Fall würde eine auf den Puffern stattgefundene Massenbewegung vier Mal gezählt werden.

7 Ergebnisse

An dieser Stelle sei nochmals betont, dass die folgenden Ergebnisse auf der Annahme beruhen, vollständige und korrekte Datensätze, Parameter und Analysen genutzt zu haben. Die vorkommenden und vermuteten Fehlerquellen werden in Punkt 8.1 mit den Ergebnissen in Verbindung gesetzt.

7.1 Straßenflächenanteil eines Gebiets im Vergleich zu den darin stattgefundenen Massenbewegungen

Um Ergebnisse des Vergleiches von Straßenflächenanteilen des Untersuchungsgebietes und der drei Teilgebiete mit den dort stattgefundenen Massenbewegungen zu erhalten, wird zunächst einmal folgende Definition getroffen. Die Häufigkeit der Massenbewegungen wird ausgedrückt in „Fläche (im jeweiligem Gebiet) pro Massenbewegungen“. Das heißt je kleiner diese Fläche ist, desto häufiger finden Massenbewegungen in dem betrachteten Teilgebiet (oder Untersuchungsgebiet) statt. Gegenübergestellt wird die Häufigkeit der Massenbewegungen dem Straßenflächenanteil des jeweiligen Gebiets.

Es resultieren folgende Ergebnisse (siehe Tab. 8):

Tabelle 8: Ergebnisse Straßenflächenanteil eines Gebiets gegenüber stattgefundenen MB

Gebiet	Gebietsfläche	Geofabrik Straßenfläche	Selbst digitalisierte Straßenfläche	Summe Straßenfläche	Anteilige Straßenfläche	
Testgebiet	160 km²	1,18 km²	0,91 km²	2,09 km²	1,30%	
Hotspot große MB	908 km²	3,12 km²	0,27 km²	3,39 km²	0,37%	
Hotspot kleine- mittlere MB	3727 km²	19,42 km²	0,65 km²	20,07 km²	0,54%	
Untersuchungs- gebiet	53210 km²	244,63 km²	0,91 km²	245,54 km²	0,46%	
Gebiet	kleine- mittlere MB	große MB	gesamt MB	Fläche pro kleine-mittlere MB	Fläche pro große MB	Fläche pro MB (gesamt)
Testgebiet	7	2	9	22,91 km²	80,17 km²	17,82 km²
Hotspot große MB	30	20	50	30,27 km²	45,40 km²	18,16 km²
Hotspot kleine- mittlere MB	110	18	128	33,88 km²	207,03 km²	29,11 km²
Untersuchungs- gebiet	121	26	147	439,75 km²	2046,52 km²	361,97 km²

Wider Erwarten finden in Gebieten mit größerem Straßenflächenanteil nicht zwingend mehr Massenbewegungen statt. Die größte Straßenflächendichte, also den größten Anteil der Straßen an der Gebietsfläche hat das Testgebiet mit 1,30 %. Darauf folgen in nachstehender Reihenfolge: das Teilgebiet „Hotspot kleine bis mittlere MB“ mit

0,54 %, das Untersuchungsgebiet mit 0,46 % und das Teilgebiet „Hotspot große MB“ mit dem kleinsten Straßenflächenanteil von 0,37 %. Zwar findet im Testgebiet ca. alle 18 km² und somit am häufigsten eine Massenbewegung statt, allerdings ist die Reihenfolge der Massenbewegungshäufigkeiten danach nicht identisch mit der Reihenfolge der Straßenflächenanteile. Auch wenn gesondert nur die Flächen pro kleine bis mittlere MB oder große MB betrachtet werden, erweist sich nicht, dass die Häufigkeit der jeweiligen Massenbewegungen mit wachsendem Straßenflächenanteil zunimmt.

Schlussendlich hat sich die Vermutung, dass Massenbewegungen durch Straßen ausgelöst werden, durch die Ergebnisse der erste Analyse „Straßenflächenanteil eines Gebiets gegenüber stattgefundenen Massenbewegungen“ im Untersuchungsgebiet nicht bestätigt.

7.2 Straßenpufferanalyse

Wie Abbildung 25 entnommen werden kann, ist die „Straßenpufferanalyse“ anhand der Schienen mit den gegebenen Umständen unwirksam. Denn die verzeichneten Massenbewegungen liegen überwiegend im Norden des Untersuchungsgebietes, die wenigen Schienen verbinden die Großstädte des Untersuchungsgebietes und liegen somit weiter südlich.

Dementsprechend sind die Ergebnisse (siehe Tab. 9). Lediglich eine kleine bis mittlere Massenbewegung liegt innerhalb des größten Schienen Puffers.

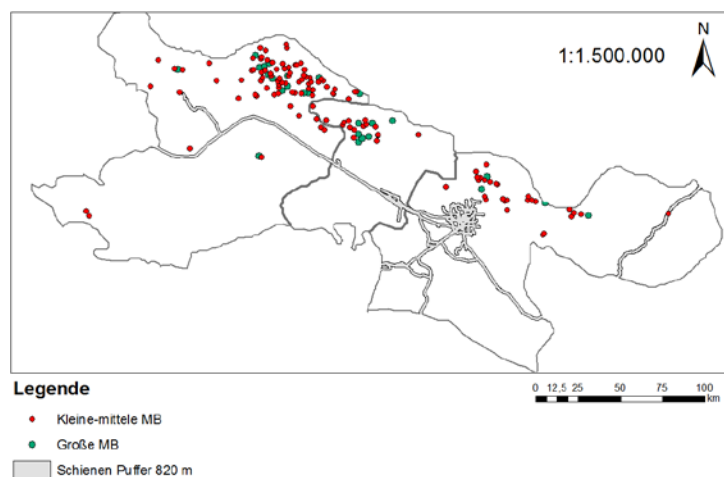


Abbildung 25: Straßenpufferanalyse; Schienen

Tabelle 9: Ergebnisse Straßenpufferanalyse; Schienen

Layer (Schienen)	große MB		kleine-mittel MB		gesamt MB	
Straßenfläche	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 25 m	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 51,25 m	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 102,5 m	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 205 m	0	0,00%	1	0,82%	1	0,68%
Puffer 410 m	0	0,00%	1	0,82%	1	0,68%
Puffer 820 m	0	0,00%	1	0,82%	1	0,68%
Außerhalb der Puffer	26	100,00%	121	99,18%	147	99,32%
Gesamt	26	100,00%	122	100,00%	148	100,00%

Das Straßennetz der Geofabrik ist wesentlich ausgeprägter als das der Schienen. Somit befinden sich viele Straßen in den Ballungsräumen der verzeichneten Massenbewegungen (siehe Abb. 26). Der Übersicht halber sind nur die Straße selber bzw. ihre Fläche und der 820 m Puffer kartiert.

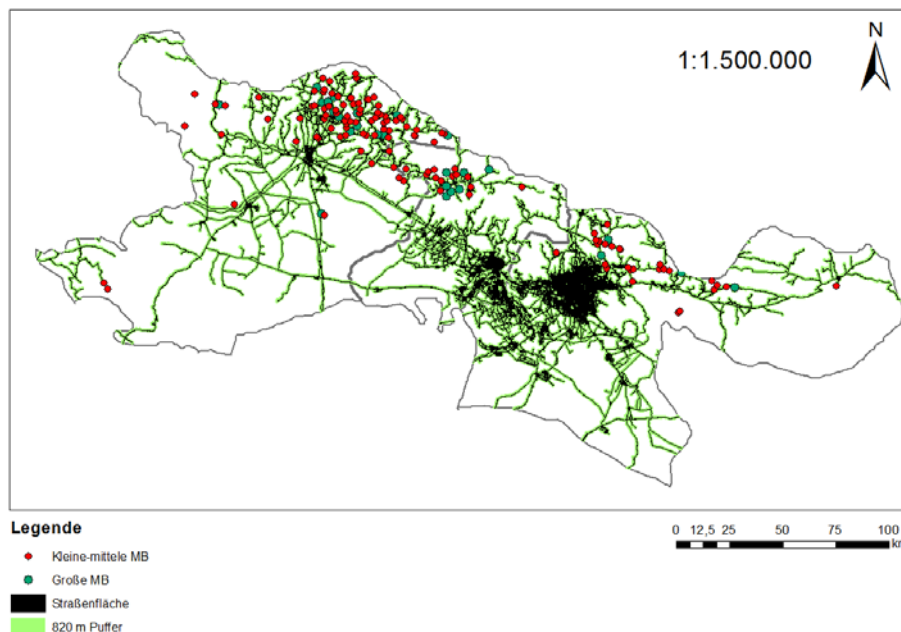


Abbildung 26: Straßenpufferanalyse; Geofabrik Straßen

Keine der Massenbewegungen hat auf den 9,50 m breiten Straßen selber stattgefunden. Über 5 % der gesamten Massenbewegungen haben innerhalb von 25 m Abstand zu den Straßen stattgefunden. Fast 37 % der Massenbewegungen liegen innerhalb von 410 m Abstand. Über ein Drittel der gesamt verzeichneten Massenbewegungen befindet sich außerhalb des 820 m Puffers, somit außerhalb des größten Puffers. Zusätzlich dargestellt durch die absolute Anzahl stattgefundener Massenbewegungen und unterteilt in große und kleine bis mittlere MB befinden sich die konkreten Ergebnisse in Tabelle 10. Innerhalb des „Median Puffers“ befinden sich ca. 42 % der großen Massenbewegungen und 53 % der kleinen bis mittleren Massenbewegungen. Insgesamt werden ca. 51 % der Massenbewegungen innerhalb dieser 600 m verzeichnet.

Tabelle 10: Ergebnisse Straßenpufferanalyse; Geofabrik Straßen

Layer (Straßen Geofabrik)	große MB		kleine-mittel MB		gesamt MB	
Straßenfläche	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 25 m	2	7,69%	6	4,92%	8	5,41%
Puffer 51,25 m	3	11,54%	11	9,02%	14	9,46%
Puffer 102,5 m	2	7,69%	15	12,30%	17	11,49%
Puffer 205 m	5	19,23%	26	21,31%	31	20,95%
Puffer 410 m	8	30,77%	47	38,52%	55	37,16%
Puffer 820 m	16	61,54%	73	59,84%	89	60,14%
Außerhalb der Puffer	10	38,46%	49	40,16%	59	39,86%
Median (600 m)	11	42,31%	65	53,28%	76	51,35%
Gesamt	26	100,00%	122	100,00%	148	100,00%

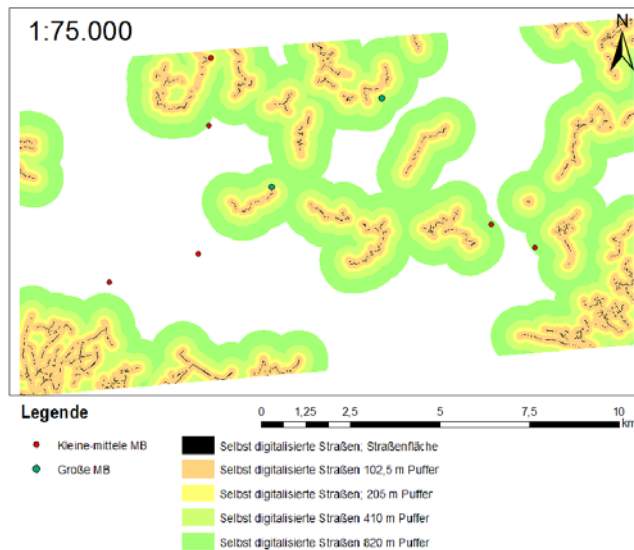


Abbildung 27: Straßenpufferanalyse; Selbst digitalisierte Straßen

Die „selbst digitalisierten Straßen“ befinden sich wie in Punkt 6.2.2 erläutert nur im „Testgebiet“. Die ersten kleinen bis mittleren Massenbewegungen kommen erst im 102,5 m Puffer vor. Die erste große Massenbewegung findet sich im Abstand von 205 m. Insgesamt liegt jedoch nur ein Viertel der Massenbewegungen außerhalb des größten Puffers.

Tabelle 11: Ergebnisse Straßenpufferanalyse; selbst digitalisierte Straßen

Layer (selbst digitalisierte Straßen)	große MB		kleine-mittel MB		gesamt MB	
Straßenfläche	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 25 m	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 51,25 m	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 102,5 m	0	0,00%	1	16,67%	1	12,50%
Puffer 205 m	1	50,00%	1	16,67%	2	25,00%
Puffer 410 m	2	100,00%	1	16,67%	3	37,50%
Puffer 820 m	2	100,00%	4	66,67%	6	75,00%
Außerhalb der Puffer	0	0,00%	2	33,33%	2	25,00%
Median (600 m)	2	100,00%	1	16,67%	3	37,50%
Gesamt (im Testgebiet)	2	100,00%	6	100,00%	8	100,00%

Bezieht man die im Testgebiet liegenden Straßen der Geofabrik mit ein, werden alle Massenbewegungen innerhalb der Puffer erfasst. In Tabelle 12 werden die einzelnen Ergebnisse aufgelistet, in Abbildung 28 visuell dargestellt.

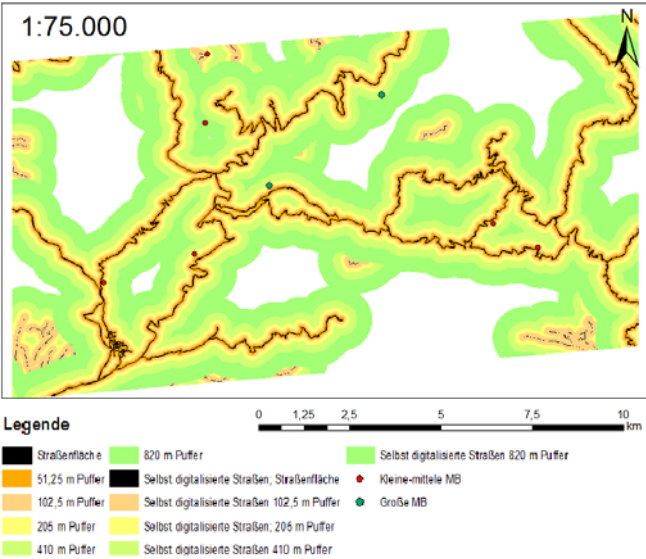


Abbildung 28: Straßenpufferanalyse im Testgebiet

Tabelle 12: Ergebnisse Straßenpufferanalyse im Testgebiet

Layer (Geofabrik + selbst digitalisierte Straßen)	große MB		kleine-mittel MB		gesamt MB	
Straßenfläche	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 25 m	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Puffer 51,25 m	0	0,00%	1	16,67%	1	12,50%
Puffer 102,5 m	0	0,00%	4	66,67%	4	50,00%
Puffer 205 m	1	50,00%	5	83,33%	6	75,00%
Puffer 410 m	2	100,00%	5	83,33%	7	87,50%
Puffer 820 m	2	100,00%	6	100,00%	8	100,00%
Außerhalb der Puffer	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Median (600 m)	2	100,00%	6	100,00%	8	100,00%
Gesamt (im Testgebiet)	2	100,00%	6	100,00%	8	100,00%

8 Diskussion

Im Folgenden werden zunächst die während der Bearbeitung der Zielsetzung aufgetretenen Fehlerquellen und Probleme aufgewiesen und erörtert. Nachfolgend werden die Ergebnisse der beiden Analysen unabhängig von den Fehlerquellen diskutiert. Im Abschnitt 8.2 findet darüber hinaus eine Bewertung der diskutierten Ergebnisse in Form einer Anfälligkeitskarte statt.

Noch zu erwähnen ist dass, „Massenbewegungskarten auf der ganzen Welt angefertigt werden, allerdings wenig Anstrengungen gemacht werden deren Verlässlichkeit zu bewerten, ihre genauen charakterlichen Konturen herauszuarbeiten und ihre Grenzen genau festzulegen“ [GUZZETTI et al. 2000 Übers. d. Verf.]. Resultierend daraus und aus den in großen Teilen eigens definierten methodischen Parametern und Verfahren heraus, wird in diesem Kapitel des Öfteren auf Grundlage eigener Interpretationen und Bewertungskriterien diskutiert und nur einzelne aussagekräftige Fachliteratur miteingeschlossen.

8.1 Fehlerbetrachtung

Massenbewegungsanalysen gehen mit ihrer Vielseitigkeit auch mit vielen möglichen Fehlerquellen und Problemen einher [VAN WESTEN, VAN ASCH & SOETERS 2006]. Auch in dieser Untersuchung sind eine Vielzahl von Fehlerquellen möglich und einige Probleme aufgetreten. Abbildung 29 verzeichnet diese.

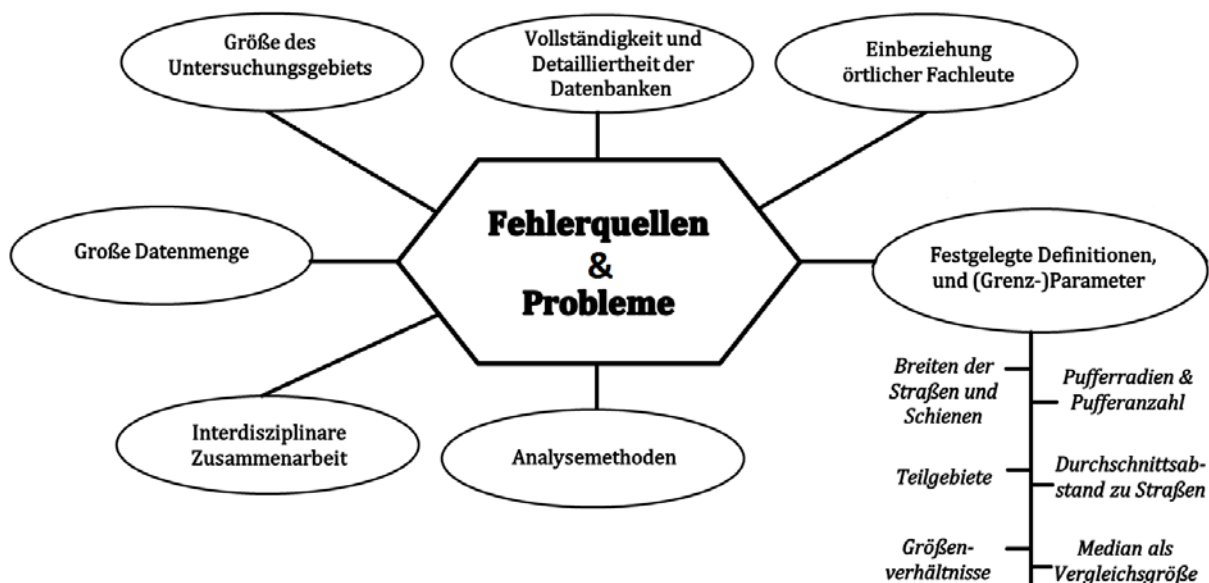


Abbildung 29: Übersicht aufgetretener und vermuteter Fehlerquellen und Probleme

Im Folgenden werden die dargestellten Fehler und Probleme näher betrachtet. Dabei ist zu beachten, dass die einzelnen Fehler nicht klar voneinander trennbar sind. Sie beeinflussen sich gegenseitig.

Durch die **Größe des Untersuchungsgebiets** entstehen einige Probleme. Der Umfang der Massenbewegungen und die damit verknüpften Informationen sind ebenfalls entsprechend groß, sodass die Überprüfung dieser Informationen nur stichprobenartig möglich ist. Eine autarke Erhebung einer Massenbewegungsdatenbank für ein Gebiet dieser Größe ist nicht zuletzt in Anbetracht des zeitlichen Rahmens unmöglich. Da dies eine Bachelorarbeit für einen Ingenieurabschluss ist und nicht für einen geologischen Abschluss, ist die eigene Erhebung einer Datenbank jedoch auch nicht vorgesehen. Trotzdem werden diese Daten benötigt. Das heißt, eine **interdisziplinäre Zusammenarbeit** ist zwingend notwendig für den Erfolg einer Massenbewegungsanalyse. Beide Disziplinen (die Disziplin der Ingenieure, und die der Geographie) beherrschen verschiedene erforderliche Fähigkeiten für die Analyse. So müssen für den Ingenieur sowohl die fertigen Massenbewegungsdaten inklusive ihrer Attribute zur Verfügung stehen als auch die Arten, auf die Massenbewegungen beeinflusst werden können. Schlussfolgernd muss für diese Arbeit der Zugang zu geologischen Daten und Informationen möglich sein. In den „Guidelines for landslide susceptibility“ wird vorgesehen, dass generell alle Daten von einem Fachberater zur Verfügung gestellt werden [FELL et al. 2008]. Die Aussagekraft der Analysen kann dadurch höchstens so groß sein wie die Richtigkeit, Vollständigkeit und Detailliertheit der zur Verfügung gestellten Datenbanken.

Durch den Grad der **Vollständigkeit und Detailliertheit der Datenbanken** sind dieser Arbeit Grenzen gesetzt. In der folgenden Tabelle werden beispielhaft Einschränkungen der Datenbanken aufgelistet. Gegenübergestellt werden die Auswirkungen bzw. die entgangenen Möglichkeiten. Folglich soll ein Eindruck darüber geschaffen werden, wie groß der Einfluss der Vollständigkeit und Detailliertheit der Datenbanken auf die Analyseergebnisse ist.

Tabelle 13: Vollständigkeit und Detailliertheit der Datenbank; Einschränkungen und deren Auswirkungen

Einschränkung	Auswirkung / entgangene Möglichkeiten
MB in Form von Punkten	Punkte ermöglichen es nicht das „Einzugsgebiet“ der MB mit zu berücksichtigen. Im Gegensatz dazu würden MB in Form von Polygonen dies tun.
Kein Datum/Zeitraum der MB und des Straßenbaus	Es lässt sich nicht nachvollziehen, ob MB vor dem Erbau der Straße stattgefunden haben und somit aus der Analyse ausgeschlossen werden sollten
Keine Unterteilung in Arten der MB	Lässt keine Aussage darüber zu in welcher Häufigkeit eine bestimmte Art MB (Muren, Steinschlag etc.) in der Nähe einer Straße stattfindet [VAN WESTEN, VAN ASCH & SOETERS 2006]
Kein bzw. sehr unvollständiges Attribut „Anzahl Straßenspuren“	Straßen unterschiedlicher Spurenanzahl können dadurch dass die Spurenanzahl nicht als Attribut verzeichnet ist keine unterschiedliche Breite zugeordnet werden. Wäre dies der Fall wären die Spurenbreiten realistischer und in der Konsequenz die Analyseergebnisse genauer.

Selbstverständlich beeinflusst die Wahl der **Analysemethode** das Analyseergebnis enorm. In dieser Arbeit wird eine mathematisch-statistische Methode gewählt. Diese kann erweitert (z.B. durch ein Höhenmodell) oder verkleinert werden, sie kann aber auch auf anderen Grunddisziplinen beruhen und möglicherweise andere Ergebnisse liefern. Zum Beispiel kann anhand physikalischer Indexe analysiert und bewertet werden.

Festgelegte Definitionen und (Grenz-)Parameter innerhalb der gewählten Analysen stellen eine hohe Fehler- bzw. Abweichungsquelle dar. So werden in beiden Analysen dieser Arbeit beispielsweise lediglich zwei Dimensionen betrachtet, also Flächen oder Punkte. Durch das Außerachtlassen von Höhenmodellen im Untersuchungsgebiet verringert sich die Aussagekraft. Zum Bei-



Abbildung 30: Beispiel hanggerichtete und berggerichtete Seite einer Straße
[ROTHACHER 2016 bearb. d. Verf.]

spiel könnte durch Einbeziehung eines Höhenmodells in der Straßenpufferanalyse untersucht werden, ob die Massenbewegungen auffällig häufig auf der Seite hanggerichtet von der Straße stattfinden oder über den Straßen stattfinden, also zur „berggerichteten“ Seite (siehe Abb. 30). Außerdem vergrößern sich die Abstände der Massenbewegungen zu den Straßen, wenn die dazwischenliegenden Höhenmeter mit in Betracht gezogen werden.

Auch innerhalb der gewählten Analysemethoden müssen weitere Parameter bestimmt werden, welche das Ergebnis beeinflussen. So hängen die Ergebnisse der hier verwendeten Methoden primär davon ab, welche **Breiten für Straßen und Schienen** festgelegt, welche **Pufferradien** und **Pufferanzahl** bestimmt und welche **Teilgebiete** gewählt werden.

Mit der Klasse „Straßenfläche“ wird die Straßenpufferanalyse auf 9,50 m genau betrieben. Das heißt die Analyse versucht die Genauigkeit der Größenordnung 10^0 m zu erzielen. Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von 53.200 km² also die Größenordnung 10^5 m 10^5 m. Dieses **von der Analyse erforderte Größenverhältnis** von ca. 1:100.000 schließt große Fehlermöglichkeiten mit ein. Laut Guzzetti ist bei statistischen Analysen eine Größenordnung von 1:100 üblich [GUZZETTI et al. 2000].

Die beiden Analysen vergleichen lediglich die Häufigkeit von Massenbewegungen anhand ihrer Lage. Die erste Analyse vergleicht die Häufigkeiten innerhalb definierter Flächen, die zweite Analyse vergleicht anhand definierter Abstände zu Straßen. **In keiner der Analysen werden Frequenz, Zeitintervall, Intensität, das konkrete Volumen und die Geschwindigkeit der Massenbewegungen betrachtet.**

Weitere festgelegte Parameter sind der durchschnittliche Abstand zu Straßen und der Median als Vergleichsgröße zur Interpretation der in den jeweiligen Puffern auftretenden Massenbewegungen. Der **durchschnittliche Abstand zu Straßen** entsteht auf Grundlage einer euklidischen Distanz Errechnung (siehe 6.3.2). Dabei können zwei Ungenauigkeiten auftreten, welche die Analyseergebnisse beeinflussen. Erstens ist die euklidische Distanzberechnung eine Raster basierte Rechnung. Sie misst die Abstände jedes einzelnen Rasters. Je kleiner das Raster, desto genauer ist der ausgegebene Durchschnittswert. Die Rastergröße sollte also so klein wie möglich gewählt werden. In diesem Fall betrug sie 10 m*10 m. Das ist immerhin genauer als der kleinste Puffer allerdings größer als die Straßenbreite. Die zweite Ungenauigkeit entsteht darin, dass die Durchschnittswertberechnung nicht im gesamten Untersuchungsgebiet, sondern nur im Alternativgebiet stattfindet. Das Alternativgebiet ist 1000 km² groß, die Zellengröße beträgt 100 m². Somit wird das von der Analyse geforderte Größenverhältnis von 1:100.000 bei der Berechnung der euklidischen Distanz erfüllt. Allerdings wird der aus dem Alternativgebiet berechnete Wert stellvertretend für das gesamte Untersuchungsgebiet genutzt und wird dadurch ungenauer. Trotzdem wird der Durchschnittswert als repräsentativ betrachtet, da erstens das Alternativgebiet immer

noch sehr groß ist (ca. 1/50 des Untersuchungsgebietes). Und zweitens umfasst das Alternativgebiet zwar keine der großen Städte und lässt somit den Durchschnittswert sicherlich steigen, aber in den im flachen Tal liegenden Städten sind keine Massenbewegungen verzeichnet. Das heißt der Durchschnittswert ist für das gesamte Untersuchungsgebiet zu hoch, trotzdem oder vielleicht gerade deshalb repräsentiert er die vorrangig von Massenbewegungen betroffenen Bergregionen, wie das Alternativgebiet eine ist, gut.

Bei der Verwendung des **Median als Vergleichsgröße** wird ein Fehler sehr deutlich, der auf alle Interpretationen dieser Analyse Auswirkungen hat. Die Massenbewegungen werden isoliert anhand des Faktors Straße untersucht. Das ist dem Ziel entsprechend, aber nicht der Realität. Das heißt, die Massenbewegungen können auch auf Grund eines anderen Faktors häufiger näher als 600 m von Straßen entfernt liegen. Zum Beispiel auf Grund von Erdbeben, die innerhalb von 600 m von Straßen stattgefunden haben. Dieser Fehler entsteht bei der isolierten Faktor Untersuchung. Allerdings ist es der leichteste Weg, auch bei einer Vielfaktorbetrachtung zunächst einmal die Faktoren isoliert voneinander zu untersuchen. Danach lässt sich der Fehler in Teilen kompensieren, indem die Faktoren gewichtet werden wie es häufig in der Literatur getan wird [MORADI & REZAEI 2013; POURGHASEMI, MOHAMMADY & PRADHAN 2012; ARZJANI, ASADIAN & VARAVIPOUR 2011 u.v.m.].

Die Größe des Untersuchungsgebietes hat eine ebenfalls (sehr) **große Datenmenge** zur Folge. Trotz der wenigen Attribute, die dem Straßensatz zugeordnet sind, ist allein der Straßensatz mit 43.000 KB sehr groß. Jeder Bearbeitungsschritt benötigt große Zeitintervalle bis hin zu 10 Stunden (gearbeitet wird an einem Laptop mit 8 GB Arbeitsspeicher; i7 Prozessor und 64-Bit-Betriebssystem). Auch die „Bing Maps Aerial“ Grundkarte benötigt eine starke Leistung und somit verhältnismäßig viel Zeit, um von einem Ausschnitt oder Maßstab zum anderen zu wechseln (15 sek-1 min).

Weiter empfiehlt die Literatur **örtliche Fachleute mit einzubeziehen** [BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE 2010]. Eine Vielzahl räumlich geprägter Fehlinterpretationen können dadurch vermieden werden [SAMODRA et al. 2015]. Diese Einbeziehung hat in dieser Arbeit nicht stattgefunden.

Wie erläutert, muss die Aussagekraft dieser Arbeit größere Einschnitte machen. Im Folgenden (Punkt 8.2 & 8.3) soll es nicht mehr um die Fehler gehen. Die Ergebnisse werden unabhängig von ihren Fehlern diskutiert. Im Anschluss müssen die Fehler selbstverständlich wieder mitbedacht und im Idealfall miteingerechnet werden.

8.2 Straßenflächenanteil eines Gebiets im Vergleich zu den darin stattgefundenen Massenbewegungen

Wie in Punkt 7 festgehalten hat sich die Vermutung, dass Massenbewegungen durch Straßen ausgelöst werden, durch die erste Analyse „Straßenflächenanteil eines Gebiets gegenüber stattgefundenen Massenbewegungen“ nicht bestätigt. Diskutieren lässt sich nun, warum diese Vermutung sich nicht bestätigt hat. Entweder beeinflussen Straßen Massenbewegungen in den untersuchten Gebieten nicht, oder die Analyse konnte dies nicht aufweisen.

Beeinflussen die Straßen der Teilgebiete MB nicht, gibt es keinen weiteren Diskussionsbedarf also wird im Folgenden angenommen, dass die Analyse keinen Einfluss nachweisen konnte. Woran könnte das liegen:

Zunächst einmal fällt auf, dass die Flächen in denen je eine Massenbewegung auftritt mit bis zu 29,11 km² in den Teilgebieten und ca. 360 km² im Untersuchungsgebiet extrem groß sind. Sprich, enorme Ergebnisveränderungen würden aus geringen Veränderungen und Erweiterungen der Massenbewegungsdatenbank resultieren. Also sind die Ergebnisse sehr anfällig für enorme Veränderung. Daher sollten obwohl die Ergebnisse in ihrer existierenden Form keine Aussage über die Beeinflussung von Straßen auf MB machen, diese nicht verworfen werden. Mit einer (wesentlich!) quantitativ umfangreicheren Massenbewegungsdatenbank werden sich zuverlässigere Ergebnisse erzielen lassen.

Alternativ wäre es möglich die Teilgebiete wesentlich zu verkleinern. Die kleineren Teilgebiete müssten sich noch mehr auf die Ballungsräume der MB konzentrieren, um eine höhere MB-Dichte zu umfassen und somit weniger anfällig gegen Ergebnisveränderungen zu sein. Außerdem würden mehr Teilgebiete es ermöglichen ausreißende Teilgebiete zu identifizieren und aus dem Vergleich auszuschließen. Beispielsweise können Teilgebiete ausreißend sein, weil in ihnen ein großes Erdbeben mit vielen Folgemassenbewegungen stattgefunden hat. Somit lässt die Analyse des Faktors Straße

entweder andere Auffälligkeiten erkennen oder vermuten oder von vornherein werden andere Faktoren und Oberflächenbegebenheiten mit in die Analyse einbezogen. Dadurch wird die Analyse des Faktors Straße sorgfältiger ausgeführt.

Schlussendlich bedarf es also einer optimierten Analyse und einer erweiterten Datenbank um (eventuell) aussagekräftige Ergebnisse durch die Analyse „Straßenflächenanteil eines Gebietes im Vergleich zu den darin stattgefundenen Massenbewegungen“ zu erzielen.

8.3 Straßenpufferanalyse

Nachstehend werden die Ergebnisse der „Straßenpufferanalyse“ diskutiert:

Die Puffer des Schienennetz sind wie in Punkt 7 dargestellt bis auf eine einzelne MB unbetroffen von Massenbewegungen. Wie auch schon bei der anderen Analyse im Punkt „Diskussion“ beschrieben, ist ein Ergebniss mit nur einer MB auf einer enorm großen Fläche aussagelos.

Das Schienennetz wird aufgrund seiner räumlichen Distanz zu MB und der geringen Anzahl verzeichneter Schienen im Folgenden von der Diskussion ausgeschlossen.

Die Puffer um das Straßennetz der Geofabrik erzielen dagegen wesentlich aussagekräftigere Ergebnisse. Dort liegen ca. 60 % der Massenbewegungen innerhalb der entwickelten Puffer. 51 % der gesamten Massenbewegungen liegen innerhalb des 600 m Puffers, also innerhalb jenem Abstand der als Bewertungsabstand festgelegt worden ist (siehe 6.2.3.2). Nach den in Punkt 6.2.3.2 festgelegten Bewertungskriterien stellt sich eine Abweichung von 1 % dar. Also liegen 1 % mehr Massenbewegungen innerhalb des Medianwertes als es die unabhängige Verteilung vorhergesagt hat. Im 820 m Puffer liegen lediglich 0,14 % mehr Massenbewegungen als das Quantil vorher gesagt hat. Bei den 410 m, 205 m und 102,5 m Puffern liegt der Anteil der MB allerdings jeweils knapp unterhalb der von den Quantilen abgeleiteten unabhängigen Verteilung.

Bei den 50 m und 25 m Puffern lässt sich eine deutliche Abweichung zu den Quantil-Werten erkennen. Im 50 m Puffer finden über ein Drittel mehr Massenbewegungen statt, als es das Quantil vorgibt. Innerhalb von 25 m finden sogar mehr als doppelt so viele Massenbewegungen statt. Die anteiligen Abweichungen von den Quantilen des 25 m und des 50 m Puffers sind wesentlich höher als die der anderen Puffer. Lediglich

der 205 m Puffer verzeichnet anteilig knappe 20 % mehr als das entsprechende Quantil hat erwarten lassen. Diese Abweichung ist im Vergleich allerdings immer noch um ein Drittel kleiner als die des 50 m Puffers und 2,7 Mal kleiner als die des 25 m Puffers.

Tabelle 14: Ergebnisse Straßenpufferanalyse; Geofabrik Straßen im Vergleich zu den jeweiligen Quantilen

Layer (Straßen Geofabrik)	große MB		kleine-mittel MB		gesamt MB		Quantil	Absolute Abweichung zum Quantil	Anteilige Abweichung zum Quantil
Straßenfläche	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%			
Puffer 25 m	2	7,69%	6	4,92%	8	5,41%	2,51%	2,90%	53,57%
Puffer 51,25 m	3	11,54%	11	9,02%	14	9,46%	6,67%	2,79%	29,49%
Puffer 102,5 m	3	11,54%	15	12,30%	18	12,16%	12,50%	-0,34%	-2,78%
Puffer 205 m	5	19,23%	26	21,31%	31	20,95%	25,00%	-4,05%	-19,35%
Puffer 410 m	8	30,77%	47	38,52%	55	37,16%	40,00%	-2,84%	-7,64%
Puffer 820 m	16	61,54%	73	59,84%	89	60,14%	60,00%	0,14%	0,22%
Außerhalb der Puffer	10	38,46%	49	40,16%	59	39,86%			
Median (600 m)	11	42,31%	65	53,28%	76	51,35%	50,00%	1,35%	2,63%
Gesamt	26	100,00%	122	100,00%	148	100,00%			

Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse mit zwei der in Punkt 4.2 vorgestellten Analyseergebnissen verglichen (siehe Tab. 15). Die beiden Studien nutzen ebenfalls die Straßenpuffermethode. Die Analyse des Gebiets in Yogyakarta weist wesentlich mehr Massenbewegungen in allen Abständen auf, als die Straßenpufferanalyse dieser Arbeit. Wenn man die drei Gebiete mit einander vergleicht fällt auf, dass das Gebiet in der Yogyakarta Provinz erstens das Kleinste ist und zweitens die größte Straßendichte hat (vgl. Abb. 4; 6; 26; und Tab. 15). Beides erklärt die größeren Massebewegungsanteile pro Puffer. Die Ähnlichkeit zu der Studie in der iranischen Provinz Mazandaran ist erstaunlich. Jeder der fünf ermittelten Massenbewegungswerte innerhalb des jeweiligen Puffers (drei davon belegt, zwei gemittelte Werte) liegt unter 1 % Abweichung zu dem Vergleichswert der Literatur. Dies mag bedingt sein durch die geringe Distanz der untersuchten Gebiete. In jedem Fall stützt es die hier verwendete Analyse und ihre Ergebnisse. In beide Literaturanalysen werden die Ergebnisse des Faktors Straße einzeln nicht weiter diskutiert, somit kann die Folgerung, dass Massenbewegungen auffällig häufig innerhalb von 50 m stattfinden nicht abgeglichen werden.

Eine weitere Analyse in der Golestan Provinz Iran erhält wesentlich kleinere Werte als die beiden bis hierhin betrachteten Analysen. Trotzdem wird in dieser Studie wie folgt gewertet: „Straßenbau und Uferabbrüche sind die Faktoren, welche das größte Hangungleichgewicht schaffen dadurch verursachen sie häufig Massenbewegungen“ [MOHAMMADY, POURGHASEMI & PRADHAN 2012 Übers. d. Verf.].

Tabelle 15: Vergleich Analyseergebnisse der Straßenpufferanalyse mit Ergebnissen aus der Literatur

Abstand zu Straßen	Untersuchungsgebiet	Gebiet in der Provinz Mazandaran Iran	Gebiet im Süden der Golestan Provinz Iran	Gebiet in der Yogyakarta Provinz Indonesien
0 m (Straßenfläche)	0%	k.A.	k.A.	k.A.
25 m	5,41%	k.A.	k.A.	7,00%
ca. 50 m	9,45%	k.A.	k.A.	25,00%
ca. 100 m	12,16%	12,38%	8,73%	53,00%
ca. 200 m	20,95%	21,90%	15,27%	>72,00%
ca. 400 m	37,16%	36,19%	23,64%	k.A.
500 m	≈44,25% ¹	44,94%	26,91%	k.A.
> 500 m	≈55,75% ²	55,24%	73,00%	k.A.
Anzahl gesamt betrachteter MB	148	153	275	131
Größe des Untersuchungsgebiet	53209,51 km ²	162,60 km ²	12,05 km ²	31 km ²
Quelle:	/	[Pourghasemi, Mohammady & Pradhan 2012]	[Mohammady, Pourghasemi & Pradhan 2012]	[Hadmoko et al. 2009]

¹gemittelter Wert aus dem 410 m und 600 m Puffer (nicht nachgeprüft)

²gemittelter Wert: 820 m Puffer minus gemittelten Wert für 500 m plus „Außerhalb der Puffer“ (nicht nachgeprüft)

Die Maße des kleinsten und des größten Puffers der Straßenpufferanalyse sind auf Grund begründeter Kriterien festgelegt worden. Die Puffer dazwischen sind Vielfache voneinander. Allerdings konnte ausschließlich über die Abstände der jeweiligen Quantile begründet diskutiert werden. Daraus folgt, dass die exakten Werte der Quantile hätten als Pufferabstände gewählt werden sollen.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Analyseergebnisse der Straßenpufferanalyse mit dem flächendeckenden Straßennetz der Geofabrik auffällig viele Massenbewegungen unter 50 m verzeichnen. Weiter entfernt verhält sich die Verteilung der Massenbewegungen sehr ähnlich der durch die Quantile vorausgesagten unabhängigen Verteilung. Die bestimmte unabhängige Verteilung wird dadurch bestätigt. Die Ergebnisse werden von einer weiteren Massenbewegungsanalyse (von Pourghasemi, Mohammady & Pradhan 2012) nahe des Untersuchungsgebiets (ca. 25 km) gestützt.

Das räumliche Verzeichnen von Massenbewegungen ist fundamental für die Vorhersage zukünftiger Massenbewegungen [GUZZETTI 2005]. Deshalb wird aus den Erkenntnissen der Straßenpufferanalyse prognostiziert, dass das Untersuchungsgebiet innerhalb von 50 m Abstand zu Straßen anfällig gegenüber Massenbewegungen bedingt durch Straßen ist, und zwischen 50 m und 820 m nicht anfällig ist. Eine weitere Bewertung der Anfälligkeiten findet in dieser Arbeit nicht statt. Daraus ergibt sich folgende „einfachste“ Form (mit lediglich einem Faktor) der Anfälligkeitskarte:

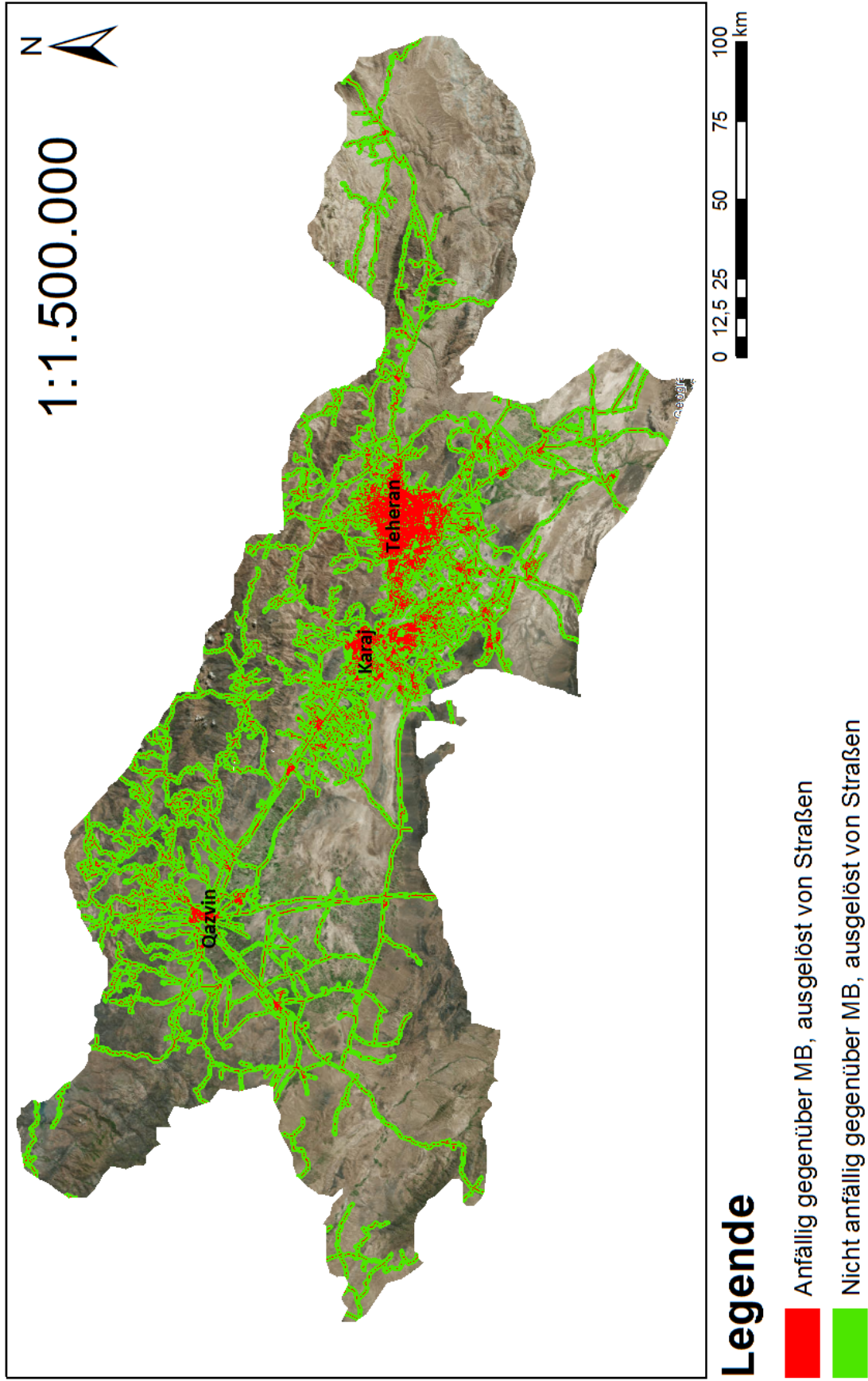
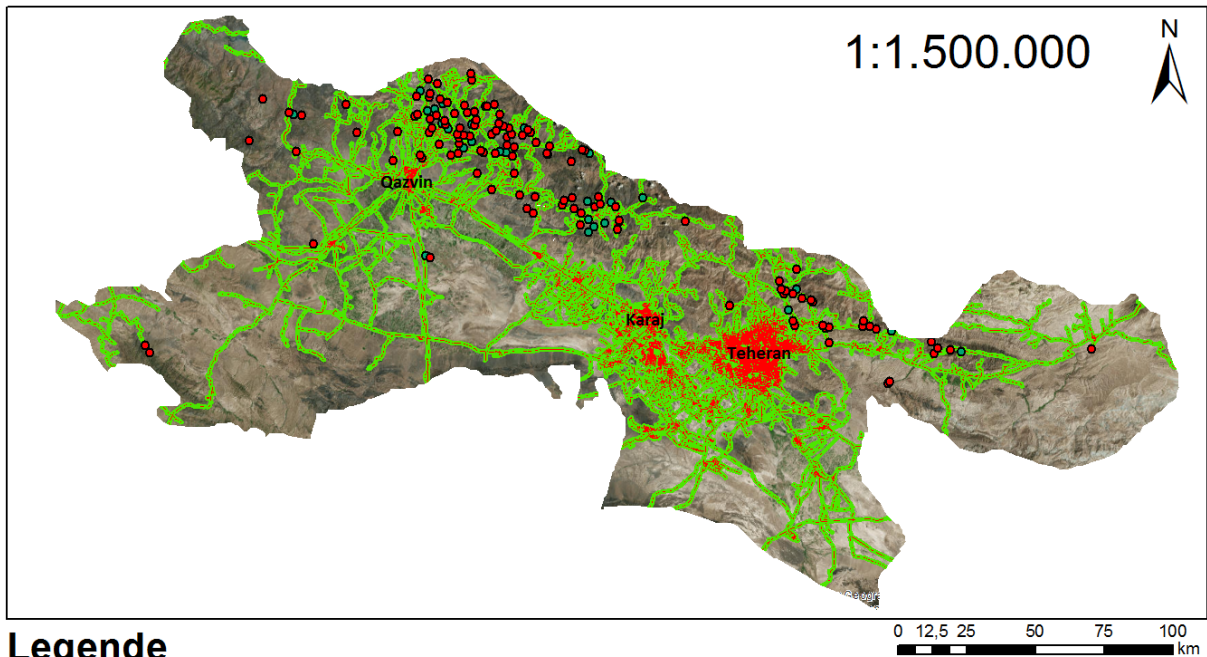


Abbildung 31: Anfälligkeitskarte Untersuchungsgebiet, auf Grundlage der Straßenpufferanalyse anhand des Geofabrik Straßen-Layers

Die roten Flächen spiegeln den 50 m Puffer wieder und somit diejenigen Flächen in denen auffällig häufig Massenbewegungen stattgefunden haben. Sie werden für „anfällig“ gegenüber Massenbewegungen welche von Straßen ausgelöst werden bewertet. Ihre Fläche beträgt ca. 0,34 % des Untersuchungsgebietes. Das sind etwa 1790 km². Im Vergleich zu anderen Studien im Elbursgebirge und anderen Gebirgen ist die anfällige Fläche anteilig sehr klein. In der Literatur gehören im Durchschnitt mindestens 18 % der Flächen zu „stark und sehr stark anfälligen“ Zonen. Allerdings beziehen die verglichenen Anfälligkeitskarten alle wesentlich mehr Faktoren mit ein und erstrecken sich über ein wesentlich kleineres Gebiet in denen der 50 m Puffer also mehr Fläche einnehmen würde. [AVINASH et al. 2008; MOHAMMADY, POURGHASEMI & PRADHAN 2012; POURGHASEMI, MOHAMMADY & PRADHAN 2012; SHAHABI & HASHIM 2015 u.v.m.] Die grünen Flächen sind anhand der Analyseergebnisse als „nicht anfällig“ bewertet. Die restliche Fläche ist auf Grundlage der in 6.2.3 definierten Grenzparametern (durchschnittliche Distanz) nicht untersucht worden. Da sie allerdings weiter als 820 m von Straßen entfernt liegt wird vermutet, dass auch diese Fläche nicht unter den von Straßen beeinflussten Massenbewegungen leidet.

Bei einer Evaluation unter Berücksichtigung weiterer Faktoren werden die Städte vermutlich in großen Teilen aus der „anfälligen Fläche“ entfernt. In ihrer Nähe sind wie in 8.1 erwähnt keine MB verzeichnet. Es kann an dieser Stelle nur spekuliert werden, dass dies daran liegt, dass die Stadtflächen im flachen Tal liegen.

Um hier einen visuellen Eindruck zu schaffen, an welchen Stellen der genannte 50 m Puffer bis heute Einfluss ausübt, folgt dieselbe Anfälligkeitskarte zuzüglich der verzeichneten Massenbewegungen.



Legende

- Anfällig gegenüber MB, ausgelöst von Straßen
- Nicht anfällig gegenüber MB, ausgelöst von Straßen
- Große MB
- Kleine-mittlere MB

Abbildung 32: Anfälligkeitskarte Untersuchungsgebiet mit MB, auf Grundlage der Straßenpufferanalyse anhand des Geofabrik Straßen-Layers

An dieser Stelle ist wichtig festzuhalten, dass eine Anfälligkeitskarte nicht mehr als eine raumbezogene Vorhersage ist. [GUZZETTI 2005]

Zuletzt werden die Puffer der selbstdigitalisierten Straßen bzw. die Puffer im Testgebiet ausgewertet. Die aus den verschiedenen Größenordnungen des Testgebietes und des Untersuchungsgebietes resultierenden Unterschiede sind prägnant. Betrachtet man die Puffer der selbstdigitalisierten Straßen zusammen mit denen der Geofabrik im Testgebiet, liegen 50 % der MB schon innerhalb von ca. 100 m. Alle MB liegen innerhalb des 820 m Puffers. Bis auf den 25 m Puffer in dem keine MB stattfinden, sind die anderen Werte mindestens doppelt so groß wie die in den Quartilen vorgegebenen Werte. Es ist allerdings darauf zu achten, dass im Testgebiet lediglich acht MB verzeichnet sind. Das heißt, eine einzige Massenbewegung mehr oder weniger hebt oder senkt das gezählte Ergebnis um 12,5 %. 12,5 % sind fünfmal so viele MB wie der kleinste Richtwert, das 2,5 % Quartil für den 25 m Abstand zu Straßen zählt.

Deshalb sind die Ergebnisse der Straßenpufferanalyse im Testgebiet nicht haltbar.

Es empfiehlt sich schlussfolgernd in einer weiteren Untersuchung die beiden Hotspotgebiete auf dieselbe Weise zu prüfen. Sie verzeichnen weitaus mehr MB und exkludieren trotzdem die weiten Gebiete in denen keine MB stattgefunden haben. **Es ist zu vermuten, dass diese Untersuchungen genauere Ergebnisse über die Anfälligkeit in den beiden Hotspotgebieten erzielen als die Straßenpufferanalyse über das gesamte Untersuchungsgebiet.**

Des Weiteren vermutet die Autorin, dass viele kleinste Böschungsrutschungen nicht in der Datenbank erfasst sind. Sie wurden vielzählig in unmittelbarer Nähe zu den Straßen erwartet. Nur mittels einer größeren und vor allem detaillierteren Datenbank kann über diese Vermutung Aufschluss geben werden.

9 Fazit

Im Verlauf der Untersuchung zu dieser Bachelorarbeit sind vielzählige Fehlerquellen und Einschränkungen offenkundig identifiziert worden. Diese müssen bei der Weiterarbeit mit den in Punkt 7, 8.1 und 8.2 aufgeführten Ergebnissen und deren Folgerungen Berücksichtigung finden und nach Möglichkeit vorab beseitigt werden.

Die Straßenpufferanalyse anhand des Geofabrikstraßen-Layers gibt darüber Auskunft, dass MB innerhalb von 50 m Abstand zu Straßen gehäuft sind. Somit ist innerhalb der festgelegten Bedingungen und Einschränkungen der hier verwendeten Straßenpufferanalyse eine Anfälligkeit von Massenbewegungen durch den Faktor Straßen nachgewiesen. Zwischen ca. 50 m und 820 m ist eine Anfälligkeit innerhalb derselben festgelegten Bedingungen und Einschränkungen ausgeschlossen worden. Darüber hinaus könnten Folgeanalysen genauer Aufschluss über die Anfälligkeit der Hotspotgebiete gegenüber von Straßen ausgelösten MB geben. Das Schienennetz liegt weit distanziert von allen verzeichneten MB und ist gering ausgebaut. Deshalb greifen beide Analysen nicht auf die Schienen zurück.

Auf Grundlage der Straßenpufferanalyse ist es gelungen, eine einfache Anfälligkeitskarte über ein solch großes Untersuchungsgebiet anzufertigen.

Die Methodik ist grundsätzlich so aufgebaut, dass sie wiederholt und erweitert werden kann. Es bedarf weiterer Evaluation durch weitere Untersuchung um die Methodik näher zu bewerten. Diese weiteren Untersuchungen sind unter den Punkten 8 und 10 näher erläutert.

Die diskutierten Ergebnisse (siehe Punkt 8.3) bestätigt die These, dass Straßen und/oder deren Bau MB auslösen. Wachsende Städte gehen einher mit einer infrastrukturellen Ausdehnung und bedeuten folglich ein größeres Auslösepotenzial für MB. Somit wächst die Dringlichkeit, die einleitend gestellte Frage

*Inwieweit sind die Städte rund um die Provinz Teheran noch fähig zu wachsen?
Oder anders: kann man die Auswirkungen der Städteausdehnung tragen oder ist es an der Zeit darüber nachzudenken, wie man diese Ausdehnungen generell eindämmt (z.B. durch Dezentralisierung des Landes von seiner Hauptstadt Teheran)?*

zu beantworten.

10 Ausblick

Mit Blick auf die diskutierten Ergebnisse lässt sich sagen:

In dieser Arbeit wurden die Folgen von Massenbewegungen die von Straßen ausgelöst werden nicht weiter betrachtet. Eine Folge die primär aus dieser Untersuchung abgeleitet werden kann sollte hiermit allerdings festgehalten werden. Die Massenbewegungen haben geballt in Bergregionen stattgefunden. Dort gibt es häufig nur wenige Hauptstraßen also keine Ausweichmöglichkeiten, wenn bewegte Masse die Straßen unpassierbar macht. Dadurch ist über die generellen Gefahren der Massenbewegungen hinaus ein besonderer Einschnitt in die Versorgung zu berücksichtigen. Ist die einzige Verbindung von einem Ort zum anderen Ort durch auf der Straße liegende Masse unterbrochen so bleibt auch jegliche Versorgung (Privatverkehr; Rettungswagen; Lebensmittel etc.) über einen gewissen Zeitraum aus. Die Art und Anzahl des auf den jeweiligen Straßen stattfindenden Verkehrs sollte für Notfallpläne etc. erfasst werden. In Verbindung gesetzt werden sollte die Anfälligkeit der anliegenden Hänge gegenüber Massenbewegungen. [WESTEN & YIFRU 2016; VAN WESTEN, VAN ASCH & SOETERS 2006]

Aus den Teil- und Gesamtergebnissen wird deutlich, dass es sinnvoll ist, den Bereich zwischen 50 m und 100 m Abstand zu Straßen näher zu untersuchen, um Aufschluss darüber zu erhalten, ab welchem Abstand genau die erhöhte Häufung von MB stattfindet. Auch innerhalb der 25 m Abstand ist zu untersuchen, ob ein kleinerer Abstand anteilig mehr Massenbewegungen verzeichnet.

Mit Blick auf die diskutierten Fehlerquellen lässt sich folgendes sagen:

Wie unter Punkt 8.1 schon ausführlich betrachtet lassen sich stattgefundenen Fehler und Probleme in einer wiederholten Analyse vermindern. Vor allem eine größere und vielseitigere Datenbank über Massenbewegungen und oder ein kleines Untersuchungsgebiet (mit größerem MB Anteil) lassen aussagekräftigere Ergebnisse erwarten. Darüber hinaus sollten generell unter allen Umständen mehrere Bestandskarten von unabhängigen Geologenteams entworfen werden.

Selbstverständlich bedürfen die Bestandskarten bzw. das Massenbewegungsverzeichnis und das Straßennetz einer regelmäßigen Aktualisierung um eine definierte Qualität zu halten.

Schon bei der Eingrenzung des Themas dieser Bachelorarbeit steht fest, dass Folgeanalysen notwendig sind, um eine zuverlässige Risikokarte zu entwerfen und manchen aufgetretenen Fehler abzuschwächen. Zunächst sollten wie bei der Studie von C. Western und Y. Yifru der Faktor Straße nicht nur durch seine lokale Ausdehnung betrachtet werden (siehe 4.2). Hangneigungswinkel um die Straßen herum, Abtragungsböschungen und Straßenentwässerungssysteme sind hinzuzuziehen. Vermutlich folgen realistischere Anfälligkeitsergebnisse. [WESTEN & YIFRU 2016]

Im Anschluss müssen andere Faktoren welche bekannt dafür sind Massenbewegungen zu beeinflussen wie z.B. der Niederschlag, tektonische Störungen u.v.m. hinzugezogen werden. Nachdem mehrere Faktoren in ihrem Einfluss auf Massenbewegungen analysiert und bewertet worden sind, können alle Faktoren „übereinander gelegt“ werden. Final muss das lokale Schadensausmaß definiert und mit einbezogen werden. Dann ist die gesamte Analyse, in welcher die Analyse von straßen- und schienengebundener Verkehrsinfrastruktur als Auslöser von Massenbewegungen nur ein kleiner Teil sein wird, fertig. Erst die Risikokarte wird dem Endanwender gerecht. Massenbewegungen können dem Menschen direkt oder indirekt in verschiedenstem Ausmaß Schaden zufügen. Indirekte Schäden wären solche an der Umwelt, der Wirtschaft, und der Versorgung. Auch immaterielle Schäden sind denkbar [BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE 2010]. Dementsprechend gibt es sehr viele Endanwender. Sie variieren je nach Schadensart und Ausmaß. Vor allem können die Risikokarten genutzt werden als Grundlage für nachhaltige Bebauungs- und Nutzungspläne. Auch der für den Rettungsingenieur interessante „Notfallplan“ profitiert enorm von einer ausgearbeiteten Risikokarte über das betroffene Gebiet.

Die „Teilrisikokartierung“ dieser Bachelorarbeit also die entstandene Anfälligkeitskarte kann an erster Stelle zur Weiterverarbeitung und als beispielhaftes Analyseverfahren genutzt werden. Sie sollte mehrere Faktoren mit einbeziehen, um als Anfälligkeitskarte genutzt zu werden. Mit diesen Daten gespeist stellt die Anfälligkeitskarte einen Nutzen für Bebauungs- und Nutzungsplänen dar [GUZZETTI 2005]. Außerdem kann auf ihrer Grundlage die Notwendigkeit von Gegen- und Schutzmaßnahmen wie z.B. Murgangszäunen (siehe Abb. 33) oder Fangzäunen (siehe Abb. 34) lokalisiert werden.



Abbildung 33: "Murgangzäune verhindern Murgänge; eine Murgang-Barriere (Geobruigg, Romanshorn, Schweiz)"
[WITT 2010]



Abbildung 34: "Fangzäune verhindern Stein-schlag; eine Ringnetz-Barriere (Geobruigg, Romanshorn, Schweiz)"
[WITT 2010]

Angesichts der Art vieler auftretender Fehler wird deutlich, welche Wichtigkeit die Zusammenarbeit von Geologen und Ingenieuren hat. Die Analyse von Massenbewegungen fordert interdisziplinäre Qualität und ist somit hochwertiger je enger beide Fachrichtungen miteinander kooperieren. Zur Weiterbearbeitung der Ergebnisse und vor allem zur Evaluierung und Erweiterung der Massenbewegungsdatenbank sollte ein Geologe/Geologenteam mit einbezogen werden, idealerweise sind dies örtliche Fachleute (siehe Punkt 8.1).

Der Faktor Straße bedarf detaillierter Weiterforschung. Nachdem konkrete Informationen darüber feststehen, Straßen welcher Merkmale Massenbewegungen beeinflussen, können Grenzwerte wie z.B. die Pufferradien mit breit aufgestellter Grundlage gewählt werden. Auch die Anzahl der Massenbewegungen die in den jeweiligen Puffer stattfinden ist mit größerer Sicherheit und Genauigkeit bewertbar.

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Bewegungstypen von Massenbewegungen.....	7
Abbildung 2: Beispiel Inventory map; Susceptibility map; Hazard map	11
Abbildung 3: Relative tektonische Aktivität um Teheran	12
Abbildung 4: Abstand der MB von den Straßen; mit lokalisierten MB als rote Quadrate; Indonesien	17
Abbildung 5: Verhältnisse MB und Straßenabstände; Indonesien	17
Abbildung 6: Distance to Roads Gebiet in Mazandaran	18
Abbildung 7: Landslide susceptibility Map Index of Entropy Gebiet in Mazandaran	18
Abbildung 8: Untersuchungsgebiet	23
Abbildung 9: Hotspot-Bildung Beispiel große MB	24
Abbildung 10: Teilgebiete	25
Abbildung 11: Alternativgebiet	26
Abbildung 12: Ablaufdiagramm Methodik	29
Abbildung 13: Ablaufdiagramm Datenbeschaffung & Datenqualitätsprüfung	31
Abbildung 14: Überprüfung MB Klassifizierung anhand der "Bing Maps Aerial" ...	35
Abbildung 15: Überprüfung der MB Lage anhand einer geologischen Karte I	35
Abbildung 16: Überprüfung der MB Lage anhand einer geologischen Karte II	35
Abbildung 17: Ablaufdiagramm Datenkartierung	36
Abbildung 18: Messung der Schienen-Planumsbreite	39
Abbildung 19: Messung der Straßen Planumsbreite.....	39
Abbildung 20: Gliederung der Planumsbreite einer Straße nach RQ 9,5.....	40
Abbildung 21: Ablaufdiagramm Straßenfläche eines Gebietes im Vergleich zu den darin stattgefundenen MB	41
Abbildung 22: Ablaufdiagramm Straßenpufferanalyse.....	43
Abbildung 23: Euklidische Distanz Alternativgebiet	44
Abbildung 24: Puffer der Straßenpufferanalyse	45
Abbildung 25: Straßenpufferanalyse; Schienen.....	48
Abbildung 26: Straßenpufferanalyse; Geofabrik Straßen	49
Abbildung 27: Straßenpufferanalyse; Selbst digitalisierte Straßen	50
Abbildung 28: Straßenpufferanalyse im Testgebiet	51

Abbildung 29:	Übersicht aufgetretener und vermuteter Fehlerquellen und Probleme	52
Abbildung 30:	Beispiel hanggerichtete und berggerichtete Seite einer Straße	54
Abbildung 31:	Anfälligkeitskarte Untersuchungsgebiet, auf Grundlage der Straßenpufferanalyse anhand des Geofabrik Straßen-Layers	61
Abbildung 32:	Anfälligkeitskarte Untersuchungsgebiet mit MB, auf Grundlage der Straßenpufferanalyse anhand des Geofabrik Straßen-Layers.	63
Abbildung 33:	"Murgangzäune verhindern Murgänge; eine Murgang-Barriere (Geobruigg, Romanshorn, Schweiz)"	68
Abbildung 34:	"Fangzäune verhindern Steinschlag; eine Ringnetz-Barriere (Geobruigg, Romanshorn, Schweiz)"	68

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1:	Vergleich des Schadens iranischer Katastrophen von 1895 bis 20112
Tabelle 2:	Durchschnittliche jährliche Veränderungsrate städtischer Population (Iran)4
Tabelle 3:	Gegenüberstellung der Gefahr vor Massenbewegung mit den betroffenen Flächen, Dörfern und der betroffenen Bevölkerung im zentralen Alborz 13
Tabelle 4:	Vergleich Straßenabschnittsanfälligkeit der "road analysis" und der "national scale susceptibility map"; Dominica 16
Tabelle 5:	Häufigkeit von Massenbewegungen nach Auslösern [SPI: Surface Percentage Index; W: Weight; R: Rate; G:Group]; Lavasan, Teheran 19
Tabelle 6:	Deutsche Planumsbreiten von Schienen38
Tabelle 7:	Übersicht verwendeter Layer40
Tabelle 8:	Ergebnisse Straßenflächenanteil eines Gebiets gegenüber stattgefundenen MB.....47
Tabelle 9:	Ergebnisse Straßenpufferanalyse; Schienen48
Tabelle 10:	Ergebnisse Straßenpufferanalyse; Geofabrik Straßen.....50
Tabelle 11:	Ergebnisse Straßenpufferanalyse; selbst digitalisierte Straßen50
Tabelle 12:	Ergebnisse Straßenpufferanalyse im Testgebiet51
Tabelle 13:	Vollständigkeit und Detailliertheit der Datenbank; Einschränkungen und deren Auswirkungen.....54
Tabelle 14:	Ergebnisse Straßenpufferanalyse; Geofabrik Straßen im Vergleich zu den jeweiligen Quantilen59
Tabelle 15:	Vergleich Analyseergebnisse der Straßenpufferanalyse mit Ergebnissen aus der Literatur60

Literaturverzeichnis

- Alexander, D. E.** (2008). A brief survey of GIS in mass-movement studies, with reflections on theory and methods. *Geomorphology*, 94(3-4), 261–267, doi: [10.1016/j.geomorph.2006.09.022](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.022).
- Anderson, S., Campbell, S., Haskins, L. & Herzog, N.** (2015). *Landslide Susceptibility Map for Tillamook State Forest: Using Weighted Overlay and Frequency Ratio Model*. Portland.
- Ardizzone, F., Cardinali, M., Carrara, A., Guzzetti, F. & Reichenbach, P.** (2002). Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. *Natural Hazards and Earth System Science*, 2(1/2), 3–14, doi: [10.5194/nhess-2-3-2002](https://doi.org/10.5194/nhess-2-3-2002).
- Arzjani, Z., Asadian, F. & Varavipour, M.** (2011). Analysis of the effect of landslides on the microenvironment in Iran. A case study of Lityan Basin. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 4(1), 1–10, doi: [10.5897/JAERD11.113](https://doi.org/10.5897/JAERD11.113).
- Avinash, K. G., Diwakar, P. G., Joshi, N. V. & Ramachandra, T. V.** (2008). *Landslide susceptibility mapping in the downstream region of Sharavathi river basin, Central Western Ghats*.
- Bagha, N., Arian, M., Ghorashi, M., Pourkermani, M., El Hamdouni, R. & Solgi, A.** (2014). Evaluation of relative tectonic activity in the Tehran basin, central Alborz, northern Iran. *Geomorphology*, 213, 66–87, doi: [10.1016/j.geomorph.2013.12.041](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.12.041).
- Bahrehamand, M.** (2010). *Qazvin. Geological Map of Iran 1:100 000 Series No.6062: Geological survey of Iran*.
- Bartoschek, T. & Kron, E. A.** (Hrsg.) (2013). *Mensch und Raum - Geographie*. Berlin: Cornelsen.
- Basler, E. & Partner AG** (2011). *Gefahrenkartierung Naturgefahren im Kanton Zürich - Massenbewegungen. Pflichtenheft 2011*.
- Bell, R.** (2007). *Lokale und regionale Gefahren- und Risikoanalyse gravitativer Massenbewegungen an der Schwäbischen Alb*. Bonn.
- Brand, K.** (Hrsg.) (2012). *ArcGIS 10.1 und 10.0. Das deutschsprachige Handbuch für ArcGIS for Desktop Basic & Standard (ehemals ArcView und ArcEditor); [gültig für Version 10.2]*. Berlin: Wichmann.

- Braun, R. & Sauer, E.** (2004). Das Geographische Informationssystem - Entwicklung und Stand. Zu Bilanz und Perspektive nach 12 Jahren Biosphärenreservat Rhön, *RN* 1/2004, 40–44.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe** (2010). *Methode für die Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz*. Bonn.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe** (2011). Glossar - V - Vulnerabilität <http://www.bbk.bund.de/SubSites/Kritis/DE/Servicefunktionen/Glossar/Functions/glossar.html?lv2=4968616&lv3=2254992>, Stand vom 1. Mai 2016.
- Davies, T. & Shroder, J. F.** (Hrsg.) (2015). *Landslide hazards, risks, and disasters*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Disaster Information Management System** (2011). I.R. Iran Composition of Distasters <http://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=irn&continue=y>, Stand vom 3. Mai 2016.
- Environmental Systems Research Institute, Inc.** (28.09.2015). Euklidische Entfernung—Hilfe | ArcGIS for Desktop <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/euclidean-distance.htm>, Stand vom 14. April 2016.
- Fekete, A.** (2004). *Massenbewegungen im Elbursgebirge, Iran. -im Spannungsfeld zwischen natürlicher Stabilität und anthropogener Beeinflussung*. Würzburg.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. & Savage, W. Z.** (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), 85–98, doi: [10.1016/j.enggeo.2008.03.022](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022).
- Forests, Range and Watershed Management Organization.** Vision & mission <http://frw.org.ir/00/En/StaticPages/Page.aspx?tid=13231>, Stand vom 9. März 2016.
- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen** (1996). Richtlinien für die Anlage von Straßen.: FGSV Verlag Köln.
- FOSSGIS e.V.** OpenStreetMap Deutschland FAQs http://www.openstreetmap.de/faq.html#was_ist_osm, Stand vom 10. Februar 2016.
- Fowler, J.** (2016). Science helps understand landslide risk - UNISDR <https://www.unisdr.org/archive/47379>, Stand vom 3. Mai 2016.

- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F. & Reichenbach, P.** (2008). Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94(3-4), 268–289, doi: [10.1016/j.geomorph.2006.09.023](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.023).
- Geier, W., Hentschel, T. & Hidajat, R.** (2005). Problemstudie: Risiken in Deutschland. Gefahrenpotenziale und Gefahrenpräventionen für Staat, Wirtschaft und Gesellschaft aus Sicht des Bevölkerungsschutzes. *WissenschaftsForum*, (6).
- Genske, D.** (2014). *Ingenieurgeologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Geological survey of Iran.** Geological survey of Iran http://gsi.ir/Main/Lang_en/index.html, Stand vom 14. März 2016.
- Glade, T., Anderson, M. G. & Crozier, M. J.** (2006). *Landslide Hazard and Risk*: Wiley.
- Glade, T. & Dikau, R.** (2001). Gravitative Massenbewegung - vom Naturereignis zur Naturkatastrophe. *Petersmanns*, 42–53.
- Guzzetti, F.** (2005). *Landslide hazard and risk assessment*. Bonn.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. & Carrara, A.** (2000). Comparing Landslide Maps. A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, 25(3), 247–263, doi: [10.1007/s002679910020](https://doi.org/10.1007/s002679910020).
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M. & Chang, K.-T.** (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 2012(112), 42–66.
- Hadmoko, D. S., Lavigne, F., Sartohadi, J., Samodra, G. & Christanto, N.** (2009). *GIS application for comprehensive spatial landslide analysis in Kayangan Catchment, Menoreh Mountain, Java, Indonesia*.
- Hervás, J., Barredo, J. I., Rosin, P. L., Pasuto, A., Mantovani, F. & Silvano, S.** (2003). Monitoring landslides from optical remotely sensed imagery. The case history of Tessina landslide, Italy. *Geomorphology*, 54(1-2), 63–75, doi: [10.1016/S0169-555X\(03\)00056-4](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00056-4).
- Hijmans, R., Rojas, E. & O'Brien, R.** Free Spatial Data | DIVA-GIS <http://www.diva-gis.org/Data>, Stand vom 18. April 2016.

- Kallash, A.** (2009). *Integriertes Verfahren zur flächenhaften Ermittlung des Gefährdungspotentials von Massenbewegungen mit Hilfe von Data Mining Tools*. Aachen.
- Liao, H.-W. & Lee, C.-T.** (2000). *Landslides Triggered by the Chi-Chi Earthquake* www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts8/hami0007pf.htm, Stand vom 9. Februar 2016.
- Liebig, W. & Mummmenthey, R.-D.** (2005). *ArcGIS-ArcView 9. ArcGIS-Grundlagen*. Norden: Points Verl.
- Lüdemann, D.** (04.2013). Seismologie: „Der Iran ist Hochrisikogebiet für Erdbeben". *Zeit online* <http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2013-04/erdbeben-iran-forscher>, Stand vom 26. Dezember 2015.
- Michael, T.** (2015). *Diercke Weltatlas*. Braunschweig: Westermann.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H. R. & Pradhan, B.** (2012). Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran. A comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221–236, doi: [10.1016/j.jseaes.2012.10.005](https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.10.005).
- Moradi, S. & Rezaei, M.** (2013). A GIS-based comparative study of the analytic hierarchy process, bivariate statistics and frequency ratio methods for landslide susceptibility mapping in part of the Tehran metropolis, Iran. *Geopersia*, 2014(4 (1)), 45–61.
- Müller, L.** (1987). Spezielle geologische und geotechnische Untersuchungen bei der Sanierung von Rutschungen im nördlichen Siebengebirge. *Ingenieurgeologie und Hydrogeologie*, (27), 234.
- Nili, M.** (2012). *Das Erdbeben in Bam. (Tektonik und Seismik)*.
- Osterkamp, B., Service-Beratung-Feedback Hochschulbibliothek TH Köln** (18.04.16). Quellen „Katalog Plus" TH Köln. Köln.
- Petschko, H.** (10.2008). *"Räumliche Analyse von gravitativen Massenbewegungen mittels multivariater Statistik - Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte am Beispiel der Region Gasen und Haslau (Oststeiermark)"*. Wien.
- Peyret, M., Djamour, Y., Rizza, M., Ritz, J.-F., Hurtrez, J.-E., Goudarzi, M. A., Nankali, H., Chéry, J., Le Dortz, K. & Uri, F.** (2008). Monitoring of the large slow Kahrod

landslide in Alborz mountain range (Iran) by GPS and SAR interferometry. *Engineering Geology*, 100(3-4), 131–141, doi: [10.1016/j.enggeo.2008.02.013](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.02.013).

Pourghasemi, H. R., Mohammady, M. & Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS. Safarood Basin, Iran. *CATENA*, 97, 71–84, doi: [10.1016/j.catena.2012.05.005](https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.05.005).

Rothacher, P. (12.03.2016). Simmental: Wenn das Geld fließt, stockt der Verkehr. *BZ Berner Zeitung*, (Online Zeitung) <http://www.bernerzeitung.ch/region/oberland/simmental-wenn-das-geld-fliesst-stockt-der-verkehr/story/15858515>, Stand vom 9. Mai 2016.

Rothschild, W. (2010). HaRakevet. A Quartely Journal on the Railways of the Middle East. *HaRakevet*, 2010(23#2).

Samodra, G., Chen, G., Sartohadi, J. & Kasama, K. (2015). Generating landslide inventory by participatory mapping. An example in Purwosari Area, Yogyakarta, Java. *Geomorphology*, (GEOMOR-05328), 1–8, doi: [10.1016/j.geomorph.2015.07.035](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.035).

Sassa, K. (1999). *Landslides of the world*. Kyoto: Kyoto Univ. Press.

Sassa, K. & Canuti, P. (Hrsg.) (2009). *Landslides - Disaster Risk Reduction*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Schneider, K.-J., Goris, A. & Albert, A. (Hrsg.) (2008). *Bautabellen für Ingenieure. Mit Berechnungshinweisen und Beispielen*. Neuwied: Werner.

Shahabi, H. & Hashim, M. (2015). Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and Remote sensing data in tropical environment. *Scientific Reports*, 5, 1–15, doi: [10.1038/srep09899](https://doi.org/10.1038/srep09899).

Sharifi, R., Solgi, A. & Pourkermani, M. (2013). A Study of the Relationship between Landslide and Active Tectonic Zones. A Case Study in Karaj Watershed Management. *Open Journal of Geology*, 03(03), 233–239, doi: [10.4236/ojg.2013.33027](https://doi.org/10.4236/ojg.2013.33027).

Sharifikia, M. (2008). Landslide hazard zonation in hilly area of Southern Caspian Sea - Iran -bases on RS & GIS tools. *Map India 2008; Geospatial World, GEospatial Communication Network*.

- Süzen, M. L. & Doyuran, V.** (2003). A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. *Environmental Geology*, 2004(45), 665–679, doi: [10.1007/s00254-003-0917-8](https://doi.org/10.1007/s00254-003-0917-8).
- Tilch, N., Kautz, H. & Kociu, A.** (2007). Interner Bericht zur Pilotstudie Kriesenregion Gasen-Haslau.
- Ullrich, B.** (10.2012). *Abschnitt 7 Exogene geodynamische Prozesse: Massenbewegungen. Massenbewegungen*. Dresden.
- United Nations** (2006). *World Urbanization Prospects The 2005 Revision. Executive Summary Fact Sheets Data Tables*. New York http://www.un.org/esa/population/publications/WUP2005/2005WUP_DataTables6.pdf, Stand vom 4. Mai 2016.
- van Westen, C. J., Castellanos, E. & Kuriakose, S. L.** (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102(3-4), 112–131, doi: [10.1016/j.enggeo.2008.03.010](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.010).
- van Westen, C. J., van Asch, T. & Soeters, R.** (2006). Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(2), 167–184, doi: [10.1007/s10064-005-0023-0](https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0).
- Westen, C. van & Yifru, Y.** (2016). Caribbean Handbook on Risk Information Management <http://www.charim.net/use/84>, Stand vom 23. März 2016.
- Whitworth, M., Giles, D. P. & Murphy, W.** (2005). Airborne remote sensing for landslide hazard assessment. A case study on the Jurassic escarpment slopes of Worcestershire, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 38(3), 285–300, doi: [10.1144/1470-9236/04-057](https://doi.org/10.1144/1470-9236/04-057).
- Wicki, S.** (2014). *Statistische Modellierung von Rutschungsanfälligkeit unter multiskalärer Betrachtung*. Zürich.
- Witt, K. J.** (Hrsg.) (2010). *Geotechnische Grundlagen. Massenbewegungen* Dieter D. Genske. Berlin: Ernst.
- Working Party for World Landslide Inventory UNESCO** (1993). *Multilingual landslide glossary*. Richmond, B.C., Canada: BiTech Publ.
- Zobl, F.** (2003). *GPS Monitoring von alpinen Hangbewegungen. Ergebnisse der Überwachung der Massenbewegung Gradenbach mit GPS und Photogrammetrie*. Graz.

Eidesstattliche Versicherung

Ich, **Tina Ghafoori** wohnhaft am **Von-Sandt-Platz 10** in **50679 Köln-Deutz**, mit der Matrikelnummer **11089803**

versichere an Eides Statt durch meine Unterschrift, dass ich die vorstehende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und alle Stellen, die ich wörtlich oder dem Sinne nach aus Veröffentlichungen entnommen habe, als solche kenntlich gemacht habe, mich auch keiner anderen als der angegebenen Literatur oder sonstiger Hilfsmittel bedient habe.

Ich versichere an Eides Statt, dass ich die vorgenannten Angaben nach bestem Wissen und Gewissen gemacht habe und dass die Angaben der Wahrheit entsprechen und ich nichts verschwiegen habe.

Die Strafbarkeit einer falschen eidesstattlichen Versicherung ist mir bekannt, namentlich die Strafandrohung gemäß § 156 StGB bis zu drei Jahren Freiheitsstrafe oder Geldstrafe bei vorsätzlicher Begehung der Tat bzw. gemäß § 161 Abs. 1 StGB bis zu einem Jahr Freiheitsstrafe oder Geldstrafe bei fahrlässiger Begehung.

Köln, 01.06.2016



Ort, Datum Unterschrift